Акад. А. Е. Ферсман

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

ЗЕМЛИ И КОСМОСА

НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОТДЕЛА В. С. Н. Х.
ПЕТЕРБУРГ
1923

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

Андреев, И. И. Азотистые соединения. 1922.

Баймаков, Ю. В. Раффинирование меди. 1919.

Банг, Ивар. Микрометоды для исследования крови. Пер. К. А. Николаева под редакцией проф. А. Н. Баха. 1923.

Бызов, Б. В. Количественный анализ. 1922.
„ Качественный анализ. 1923.
„ Справочник отдела Химической Промышленности имени Л. Я. Карпова. Вып. III. Резиновая промышленность. 1922.

Блох, М. А. Развитие химической промышленности, ч. I, 1920. Изд. разошлось.
„ Творчество в науке и технике. 1920.
„ Жизнь и творчество Вант-Гоффа. 1923.

Вальден, П. И., акад. Наука и жизнь, ч. I, 2-ое изд. 1922; ч. II, 1919. ч. III, 1921.
„ „ Теории растворов в их исторической последовательности. Перевод Н. П. Страхова под ред М. А. Блох. 1921.

Вальгис, В. К. Светильный газ. 1920.

Василевские, Л. А. и Л. М. Пищевые суррогаты. 1923.

Вернадский, В. И. акад. Очерки и речи, ч. I и II, 1922.
„ „ Живое вещество в химии моря. 1923.

Деринг, Т. Обзор работ до аналитической химии. Пер. Е. Д. Воловой под ред. и с дополн. М. А. Блох. 1922.

Добрянский, А. Ф. Пирогенетическое разложение нефти. 1922.

Доливо- ... ческой Промы- ... рпова. Вып. I. ... 1922.

Донат, ... ского. 1923.

Залькин ...

Записна ...

Иванов, ...

Иванов, ...

Известия ...

Ипатьев ...

... в России. 1923.

Ипатьев ... Г. А. У. 1921.



Акад. А. Е. Ферсман

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ
ЗЕМЛИ И КОСМОСА

НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОТДЕЛА В. С. Н. Х.
ПЕТЕРБУРГ
1923

Государственный Трест
«Петропечать»
типография имени Ивана Федорова,
Звенигородская, 11.

Петрооблит № 3324 — Тираж 3000 экз.

ВВЕДЕНИЕ.

«Космос — гармоническое целое».

A. Humboldt. 1828

Среди отдельных проблем геохимии, этой новой отрасли естествознания (1) [1], вопрос о количественном распространении отдельных химических элементов уже давно занимал внимание. После классических работ Clarke и Vogt'a, смело развивших блестящие идеи Döbereiner'a и Elie de Beaumont, вопрос о среднем составе земной оболочки и о распространении отдельных элементарных тел встал на почву точных аналитических данных, и сейчас, после более, чем тридцатилетней работы в этом направлении, многое оказалось уже твердо установленным и вехи прочно поставленными.

Получилась любопытная картина природного явления, выхваченная из мироздания, освещающая только один уголок космических явлений, определяемый пределами доступной нашему химическому анализу земной коры.

Попытки объяснить этот состав земной коры не могли быть удачными, пока мы оставались в рамках этого уголка мироздания и не хотели искать объяснений вне геологической истории и вне реально достижимого человеком пространства.

Надо было для решения вопроса выйти за пределы земной коры и признать нашу земную оболочку лишь частью космоса, тесно связанною с ним в своей истории и в своих физических и химических судьбах.

Эти попытки должны были неизбежно привести к рассмотрению вопросов или космогонического характера — и на этот

---

[1] Цифры в скобках относятся к примечаниям, помещенным в конце книги. Туда же отнесена и вся литература.

путь встал еще в 1904 г. французский геолог де-Лонэ — или же подойти путем сравнения химии земли с химией мироздания, с теми главами астрофизики, которые занимаются изучением распространения химических элементов на космических телах, — этот второй путь был осторожно избран Бауром (1903) и отчасти освещался знаменитым Аррениусом, шедшим по пути Гельмгольца.

Проблема расширялась и усложнялась особенно благодаря целой группе исследований, которая всю совокупность элементов природы пыталась путем теоретических построений связать в единую цепь, тесно приуроченную к различным стадиям развития звездных миров: это были заманчивые, но часто чисто спекулятивные схемы Локайера, Крукса, Морозова.

Но пока шли эти попытки теоретическим путем разобраться в природе элементарных тел и законах их распространения успехи радиоактивности, новые завоевания физической мысли Эйнштейна, открытия молодого индийца Саги и глубокие эксперименты Рёзерфорда влили в понятие о веществе и законах его превращения совершенно новое содержание, и неудивительно, что сначала астроному Эддингтону, а потом отчасти Лорингу, но, главным образом, гению Нернста, Аррениуса и Перрена, на основе этих завоеваний, удалось создать новую концепцию мира, в новом понимании происходящих в нем химических явлений.

Химия космоса получила новое освещение, и в этих новых блестящих лучах и маленькая наша проблема о составе земной коры получила новое толкование и поставила новые задачи.

Именно этою проблемою я буду заниматься в настоящем очерке; последовательно, шаг за шагом, я хочу сначала дать краткий очерк фактических сведений о распространении отдельных элементов в разных частях мироздания. Исходя из различия методов и различия в подходах к изучению явлений, мы установим четыре, совершенно неравноценных, но для нас резко отличных области: земную кору, центральные части земли, метеорные обломки и космические тела (кометы, планеты, солнце, туманности и звезды). Для каждой из групп мы попытаемся дать характеристику тех элементов, которые в них известны, и наметить порядок их относительного значения.

Это составит первую и главную задачу настоящего очерка — сводка фактического материала и его сопоставление.

Во второй части я перейду к изложению многочисленных попыток объяснить состав земной коры и космических тел, причем в исторической последовательности рассмотрю, как постепенно видоизменялись наши взгляды и как упорно некоторые идеи удерживались в научном обиходе, несмотря на бездоказательность их положений. И здесь руководящая роль принадлежит закону Менделеева, атомной модели Бора и опытным данным по ионизации элементов Саги.

Третья и заключительная часть должна дать новое освещение сопоставленным фактам и попытаться слить их в единой картине. Она основана целиком на идеях современной физики. Новая концепция мира, вытекающая из новых идей, является неизбежным следствием современных завоеваний естественно-исторической мысли. Проблемы, широко поставленные Эйнштейном, Эддингтоном и Нернстом в картине мироздания, не могут не найти себе отражения в химических вопросах земной коры.

Пусть, однако, в самом введении будет отмечена основная идея этой последней главы: проблема химического состава космоса и в свете новых идей остается проблемою; только вехи на пути к ее разрешению могут быть поставлены, вопросы только формулированы и намечены, но не разрешены.

Но одна основная идея сейчас резко вырисовывается на фоне всей сложной работы по познанию мира: это — поразительное единообразие в распределении элементов в мироздании, единство состава, единство и постоянство относительной роли отдельных элементарных тел в разнообразных условиях космической обстановки. Эта идея наростает по мере ее проникновения в химию мироздания; она идет на смену красивым цепям эволюции атомов, она снова отодвигает вопрос о зарождении или распаде химических тел космоса из области точных наблюдений в область только смелых догадок. И именно в этот момент торжествует в опытах Рёзерфорда разрушение атомов и их ядра, а в астрохимии эксперименты Саги разбивают идеи многообразия элементов звезд, выявляя огромную прочность ядра атома в сложной космической эволюции звездных миров.

Но если теперь мы приходим впервые к более правильному толкованию наших наблюдений, то все же еще очень далеко от их рационального объяснения.

И если, тем не менее, в заключении делается попытка разгадать загадку окружающей нас природы и в новую концепцию мира включить и звено нашей земной коры, то это пусть будет рассматриваться лишь, как неизбежный порыв мысли, не желающей в поставленной задаче мириться со своим «nescio» [1]).

Март 1923 г.

---

[1]) Частично мои взгляды, собранные в этой книге, были изложены в следующих работах и статьях: А. Ферсман. Геохимия России. 1922. I. (Химико-Технич. Изд.). А. Ферсман. Причина распространенности некоторых химических элементов. Природа. 1922. № 6. р. 102. А. Ферсман. Об одной законности распределения химических элементов в земной коре. Доклады Росс. Ак. Наук. 1923. А. Ферсман. Химия мироздания. Изд. «Время». Петр. 1923. См. также А. Ферсман. Количественный состав земной коры в процентах числа атомов. Изв. Акад. Наук. СПБ. 1912. 367.

I. Химический состав земной коры.

А. Качественный состав.

«Геохимия изучает историю химических элементов в земной коре в отличие от минералогии, изучающей природные химические соединения, молекулы — минералы».

Вернадский 1922.

§ 1. Задача изучения химического состава земли требовала прежде всего определения границ нашей планеты, доступных нашему исследованию. Современная геохимия с достаточною определенностью выяснила, что за пределами 15 — 20 километров глубины мы лишены возможности непосредственно судить о химическом составе, и, потому, она ограничила поле своих исследований теми 20 километрами, для которых в наших руках имеются вещественные объекты природных химических процессов.

Таким образом, наша атмосфера, вóды земной поверхности, определяющие гидросферу, и твердая земная кора до глубины в 15 — 20 километров — такова та первая часть космоса, которую мы будем в дальнейшем называть просто земною корою (2).

§ 2. Из земной коры черпает минералог и химик объекты своих исследований и на ней построена и современная неорганическая химия, и сама геохимия, и весь сложный мир идей о радиоактивности.

Сейчас мы знаем, что эта земная кора построена из 88 элементов (вернее говоря т и п о в элементов), тогда как

теоретически мы ожидали бы встретить в ней 92 элементарных тела или порядковых номеров, как это сейчас принято говорить; из них № 43 и 75 являются аналогами марганца, 85 — указывает на элемент галоидного типа, 87 — щелочной тяжелый металл, вероятно радиоактивный, как и предыдущий (3).

Таковы первые факты, которые нам дает изучение окружающей нас природы: земная кора состоит из 88 типов химических элементов (4).

§ 3. Новейшие работы Содди, Рёзерфорда и Астона (5) показывают дальнейшее осложнение вопроса. С одной стороны открывается целая большая область элементов, лишь условно укладывающихся в таблицу Менделеева и наделенных особыми свойствами превращения в новые виды атома путем излучения части заключенной в них энергии — материи. В настоящее время такими свойствами оказываются наделенными 42 различных химических атома. Эти элементы, называемые радиоактивными, образуют несколько рядов, частично при процессе распада выделяют через α-лучи атомы газа гелия, а в конечном итоге превращаются в более устойчивые тела, близкие по атомным весам к свинцу.

Привожу главные ряды:

A — UI, UX_1, UX_2, UII—UY, Pa, Act., Radioact., Act. X, Act. Em, Act. A, Act. B, Act. C, Act. C^I, Act. C^{II}, Act. D (попадающий в тип свинца) — 16 видов (6).

B — начинающийся от UII — Io, Ra, RaEm, RaA, RaB, RaC, RaC^I, RaC^{II}, RaD, RaE, RaF (= Po), RaG (попадающий в тип свинца), — 12 видов.

C — Th., Mesoth. I, Mesoth. II, Radioth., ThorX, ThorEm, ThorA, ThorB, Th.C, ThC^I, ThC^{II}, ThD (попадающий в группу свинца) — 12 видов.

D — особое положение занимают K и Rb — 2 типа.

Количественно все элементы рядов ABC связаны между собою особыми законами, из которых опытным путем выводятся времена (половины) существования отдельных элементарных тел. Таким образом, эти элементы вместе с ураном и торием распределены в земной коре в различных количествах, причем, как будет указано ниже, неодинаковых в различных частях коры.

Таким образом, мы намечаем вторую группу явлений, характерных для земной коры: существование в ней не менее 42 видов атомов, лишь частично отвечающих элементам Менделеевской таблицы, обладающих способностью превращения по строго определенным законам, определяющим: порядок процесса распада, количество распадающихся в единицу времени атомов и продолжительность жизни (половины жизни) каждого элементарного тела (5).

§ 4. Уже из предыдущего мы видели, что 88 химических элементов, известных в земной коре, намечают собою только типы элементов, вернее говоря, клеточки Менделеевской системы, место в которых, как сейчас оказывается, может быть занято несколькими видами атомов различных атомных весов. Таким образом тип элемента оказался определенным не атомным весом, а тою клеточкою, которую он занимает в таблице, т. е. его атомным порядковым числом с отвечающим ему определенным рентгеновским спектром.

Все виды элементов, относящиеся к одной клетке, носят название изотопов.

Таким образом сейчас оказывается, что в земной коре мы знаем 88 типов химических элементов, тогда как число видов их гораздо больше.

По опытам Астона мы сейчас знаем изотопы нижеследующих элементов (причем в скобках поставлено число открытых изотопов): Li (2), B (2), Ne (2 или 3), Mg (3), Si (2), Cl (2), Ar (2), K (2), Ca (2), Fe (2, из коих один очень слабый), Ni (2), Zn (4 или 5), Se (6), Br (2), Kr (6), Rb (2), Sn (8), Sb (2 или 3), Xe (5—7), Hg (6).

Кроме того из группы радиоактивных элементов[1]): Tl (3 + 1), Pb (7 + 1), Bi (4 + 2), Po (7), RaEm (3), Ra (4), Ac (2), Th (6), Pa (2), U (2).

Повидимому, не дают изотопов: H, He, Be, C, N, O, F, Na, P, S, As, J, Cs. Для остальных элементов у нас нет пока точных данных (7).

[1]) С плюсом поставлены изотопы нерадиоактивные, определяющие собою тип элемента данной клетки.

Таким образом оказывается, что земная кора состоит из большого количества видов атомов-изотопов, число которых должно превышать 200. Одни из них принадлежат к мало устойчивым формам материи, другие, наоборот, являются крайне устойчивыми и не радиоактивны. Наконец, особую группу элементов представляют те порядковые номера, которые не образуют изотопов.

Мы приходим к выводу: земная кора состоит из четырех типов элементов: первая группа по своему характеру вполне отвечает элементам Менделеевской системы — это преимущественно более легкие, простые (не смешанные) атомы низких порядковых чисел и атомных весов, весьма распространенные в земной коре, и, повидимому, элементы, преимущественно строющие органическую жизнь.

Вторую группу элементов (по преимуществу заключенную между порядковыми числами 12—60) представляют нормальные элементы, образующие ряд изотопов, встречающиеся всегда в природе в виде смесей строго определенного состава, но не обладающие видимою способностью к разложению.

Третью большую группу представляют наиболее тяжелые элементы, обладающие большою способностью к радиоактивному распаду, неустойчивые, разлагающиеся атомы земной коры.

Между третьей и второй группой заключена еще четвертая группа (между числами 57—71), называемая группою редких земель: все это настоящие элементы с различными, хотя и очень сходными химическими свойствами, повидимому, тесно связанные между собою по строению атома, не обладающие радиоактивностью.

§ 5. Установив таким образом наличие в земной коре около 200 изотопов с различными атомными весами, мы подходим к очень важному вопросу, что же представляют из себя те 88 встречаемых в природе химических элементов и каковы их соотношения с теорией изотопов.

Рассмотрим теперь те основные ячейки, в которых имеется несколько изотопов. Их три типа, причем четвертым мы будем считать те из них, которые не дают изотопов. В одних заключаются только радиоактивные элементы, отдельные члены распада,

напр., в клетке № 90 содержится сам материнский элемент торий и продукты его распада: никаких устойчивых элементов или конечных продуктов распада нет, таковы:

92 U 91 Pa 90 Th 89 Ac 88 Ra 86 RaEm 84 Po.

Вторую группу составляют такие клеточки Менделеевской таблицы, в которой имеются как радиоактивные элементы, так и устойчивые нерадиоактивные элементы и устойчивые конечные стадии распада. Напр., порядковое число 82, к которому относится и сам обычный свинец, и радиосвинец (RaG).

Таковы три типа; с порядковыми номерами:

83 Радиоактивные элементы промежуточные и нерадиоактивный Bi (с двумя изотопами).
82 Радиоактивные элементы промежуточные, конечные продукты распада (устойчивые) и нерадиоактивный Pb.
81 Радиоактивные элементы промежуточные и нерадиоактивный Tl.

Третью группу представляют те порядковые числа, к которым относятся несколько различных изотопов нерадиоактивных элементов, иначе говоря, где привычные нам элементы Cl, Si и т. д. являются смесью нескольких изотопов. Это в сущности большинство элементарных тел.

Наконец, последнюю четвертую группу составляют элементы, занимающие совершенно самостоятельное положение, не образуя изотопов. Мы перечислили их выше, отметив пока 12 таких элементарных тел (§ 4).

Установив таким образом указанные четыре группы, перейдем к нашей проблеме, а именно, к рассмотрению того, в каком отношении находятся эти четыре группы к земной коре и какова их относительная роль.

Группа I. 7 тяжелых порядковых чисел (84, 86, 88, 89, 90, 91, 92) характеризуются сочетанием исключительно радиоактивных элементов. Взаимное отношение количеств этих изотопов определяется точно законами радиоактивного равновесия. Методами химического анализа материнские тела (U, Th) или более или менее устойчивые промежуточные (Ra) могут быть выделены, и их атомный вес аналитически определен.

В этой группе и ее распределении в природе мы оперируем с точными цифрами постольку, поскольку исходим из опреде-

ленного в природе количества U и Th. Для всех остальных видов элементов, связанных с ураном и торием, формулы радиоактивного равновесия дают очень точные цифры (8).

Группа II. Гораздо сложнее вторая группа: в ней в одной клетке находятся и радиоактивные, и нерадиоактивные изотопы. Однако, опытным путем они могут быть выделены самостоятельно и каждый из них изучен порознь. Атомные веса таких элементов различны и сейчас уже определены с достаточною точностью.

Так, обыкновенный свинец — 207, 20 — 207, 22 (из сернистых руд).
RaG (радиосвинец) — 206, 04 206, 12 (главным образом, из брёггерита).
ThD (ториосвинец) — 207, 90 (природа ториосвинца еще внушает сомнения).

Для висмута и таллия мы не имеем таких отличий. Относительное распространение указанных трех видов свинца не изучено и неизвестно, но напрашивается мысль, что обыкновенный свинец есть смесь ThD и RaG в строго определенных пропорциях.

Многочисленные аналитические работы показали, что вопрос этот, благодаря роли группы актиния, несколько сложнее, но в общем в минералах с торием атомный вес свинца приближается к 208, а в урановых к 206.

Во всяком случае в этой группе различия в атомных весах найдены в самой земной коре, и, потому, в будущем аналитик природного соединения обязательно должен будет указывать, какой свинец им найден в минерале.

Группа III обнимает собою большинство природных элементов, но как раз по отношению к ней мы встречаемся с особыми затруднениями. Оказывается, что, изучая атомный вес какого-либо природного элемента, напр., Cl, и получая для него 35,46, мы в сущности получаем условное число, дающее нам константу какой-то сложной смеси из 35, 37 (и, может быть, 39). Разделить эти смеси изотопов мы можем только применением особенно тонких методов; так, для ртути, благодаря применению фракционированной дестилляции такая попытка частично удалась Brönstedt'у (1921), а для хлора, особенно в виде HCl — лаборатории Harkins'a (1921).

Весьма интересно, что в условиях нашей земной коры мы до сих пор не находили этого разделения изотопов, хотя целый ряд весьма тонких природных процессов фильтрации, дестилляции и диффузии не исключают возможности открытия в природе таких условий.

Специальная лаборатория Richards'а в Гарвардском университете была занята изучением атомного веса элементов, полученных из различных стран и различных месторождений. До сих пор все результаты — отрицательны (кроме одного определения Кюри хлора, извлеченного из соли в Центральной Африке). Даже хлор, полученный из солей земной поверхности и апатитов (фосфатов), по данным Gleditsch и Samdahl оказался отвечающим общепринятому весу.

В этом направлении изучены: Cu, Cl, Na, Ca, Fe, Ni, Ag, Au, B, Hg.

Любопытно, что даже атомные веса Fe и Ni в земных минералах и метеоритах оказываются тождественными (9).

Мы как будто бы подходим к выводу: ряд изотопов образует в земной коре закономерные смеси в определенных и неизменяемых соотношениях, и, если этот вывод будет распространен и на метеориты, то в пределах земной коры и обломков метеоров мы не будем иметь и следов таких химических процессов, кои вели бы к разъединению отдельных изотопов между собою. Этим изотопы третьей группы в геохимическом отношении отличаются от изотопов первой и второй групп.

Группа IV. Не заключает в себе изотопов, и так как, поэтому, эти элементы не приходится считать смесями, их атомные веса выражаются целыми числами (производными от He = 4 и H = 1,008)[1]).

Так:

H	He	Be	C	N	O	
1,008	4,0	9,02	12,0	14,01	16,0	
F	Na	P	S	As	J	Cs
19,0	23,0	31,04	32,06	74,96	126,92	132,81

Более значительно отклонялся от нашего закона только Be, для которого проверка атомного веса (9,1) дала в 1922 г. предсказанную поправку (9,02).

[1]) С соответственными поправками на изменение (потерю) массы в общем поле (Packeffekt).

§ 6. Подведем итоги сказанному: земная кора состоит из 88 типов элементов и около 200 видов. Одни из них устойчивы и в пределах наших опытов неизменны, другие, наоборот, постоянно превращаются; одни виды существуют самостоятельно и, как таковые, в природе могут быть открыты и выделены, другие, наоборот, известны нам только в смесях, но весьма определенного состава (смеси изотопов одного и того же атомного числа); третьи, наконец, существуют в закономерных смесях, но могут быть разделены методами физико-химического анализа (смесь элементов радиоактивного распада).

§ 7. Перейдем теперь к вопросу о распространении отдельных групп элементов в земной коре.

Прежде всего отметим характер наших знаний по отношению к тем четырем большим группам, которые нами выше намечены (§ 5).

Первую группу составляют U и Th и продукты их распада. Благодаря очень многочисленным работам Strett'a, Joly, Boltwood'a и других по распространению этих радиоактивных элементов, мы имеем в достаточной степени ясную картину их распределения в разных частях земной оболочки и в разных горных породах и минералах (10). Во всяком случае для изверженных пород среднее содержание в процентах определяется около $7{,}0 . 10^{-4}$ U и $1{,}5 . 10^{-3}$ Th.

Таким образом, для первой группы мы обладаем весьма точными данными.

Вторую группу, составленную из изотопов Bi, Pb, Tl, мы знаем лишь условно в земной коре. Нам известны лишь грубые общие суммарные цифры содержания этих трех групп изотопов, и до сих пор еще не проведено определения их распространения по изотопам. Нет, однако, никакого сомнения, что выяснение распространения отдельных изотопов именно в этой группе вполне возможно и требует лишь детальных химических анализов с определением атомного веса тел.

Для третьей и четвертой групп мы знаем распространение элементов только по типам, т. е. по порядковым числам, и отдельные изотопы совершенно ускользают от нашего внимания, хотя их количество для случаев с двумя изотопами может быть вычислено из атомного веса по правилу смешения.

Таким образом при учете распространения элементов в земной коре мы только для небольшой части можем говорить об отдельных изотопах, а в остальной массе учитываем лишь распространение данного порядкового номера или типа Менделеевской системы.

В. Количественный состав.

§ 8. Пока мы рассмотрели первую часть нашей задачи: какие типы и виды элементов нам известны в окружающей нас природе. Теперь вернемся опять к нашей земной коре и посмотрим, как в ней распределены отдельные элементы.

В этом вопросе мы встретимся прежде всего с тремя основными проблемами: во-первых, сколько каждого элемента в среднем входит в изучаемую нами земную кору, во-вторых, как эти элементы распределены в пространстве в разных оболочках земли, и в-третьих, какие сочетания элементов при этом наблюдаются.

Проблема среднего состава земной коры сейчас решена довольно полно. С 1889 г., благодаря удачной идее американского геохимика Clarke, началась работа в этом направлении и сейчас за 30 лет работы, благодаря трудам норвежского геолога Vogt'a, самого Clarke, геохимика и петрографа Вашингтона, академика Вернадского и других, средний состав земной коры во всех ее оболочках в первом приближении решен (11).

Привожу сначала подсчеты для трех главных оболочек: атмосферы, гидросферы и литосферы (таблицы I и II).

ТАБЛИЦА I.
Состав атмосферы (12).
(по весу).

N	75,47470
O	23,19153
A	1,29985
Kr	0,02800
Xe	0,00500
Ne	0,00086
He	0,00006
Сумма	100%

ТАБЛИЦА II.
Состав океана (13).
(по весу).

O	85,79
H	10,67
Cl	2,07
Na	1,14
Mg	0,14
S	0,09
Ca	0,05
K	0,04
C	0,003
Br	0,002
Сумма	99,995

ТАБЛИЦА III.

Средний состав литосферы (14).
(по весу).

	По Кларку 1920.					По Вашингтону 1920.
	Магм. 95%	Сланцы 4%	Песчан. 0,75%	Известн. 0,25%	Средн. %	Магмат. (состав гранодиорита).
SiO_2 . .	59,83	58,10	78,33	5,19	59,77	59,09
Al_2O_3. .	15,02	15,40	4,77	0,81	14,89	15,35
Fe_2O_3 .	2,62	4,02	1,07	0,54	2,69	3,08
FeO . .	3,43	2,45	0,30	—	3,39	3,80
MgO. .	3,74	2,44	1,16	7,89	3,74	3,49
CaO . .	4,83	3,11	5,50	42,57	4,86	5,08
Na_2O .	3,37	1,30	0,45	0,05	3,25	3,84
K_2O . .	3,05	3,24	1,31	0,33	2,98	3,13
H_2O . .	1,90	5,00	1,63	0,77	2,02	1,14
TiO_2. . .	0,79	0,65	0,25	0,06	0,77	1,05
ZrO_2 .	0,023	—	—	—	0,02	0,039
CO_2 . .	0,49	2,63	5,03	41,54	0,70	0,102
P_2O_5 .	0,29	0,17	0,08	0,04	0,28	0,30
S . . .	0,10	—	—	0,09	0,10	0,53
SO_3 . .	—	0,64	0,07	0,05	0,03	—
Cl . . .	0,063	—	—	0,02	0,06	0,056
F . . .	0,10	—	—	—	0,09	0,078
BaO . .	0,10	0,05	0,05	—	0,09	0,055
SrO . .	0,043	—	—	—	0,04	0,022
MnO . .	0,10	—	—	0,5	0,09	0,125
NiO . .	0,026	—	—	—	0,025	0,025
Cr_2O_3 .	0,048	—	—	—	0,05	0,056
V_2O_3. .	0,026	—	—	—	0,025	0,032
Li_2O . .	0,011	—	—	—	0,01	0,007
C . . .	—	0,80			0,03	—
Сумма. . .	100%	—		—		—

ТАБЛИЦА IV.

Средний состав магматических пород (по весу) (15) *).

	По Клерку 1920.	По Вашингтону 1920.
O	47,29	46,43
Si	28,02	27,77
Al	7,96	8,14
Fe	4,56	5,12
Mg	2,29	2,09
Ca	3,47	3,63
Na	2,50	2,85
K	2,47	2,60
H	0,16	0,127
Ti	0,46	0,629
*Zr	0,017	0,028
*C	0,13	0,027
P	0,13	0,130
S	0,10	0,052
*Cl	0,063	0,055
*F	0,10	0,077
Ba	0,093	0,048
Sr	0,034	0,018
Mn	0,078	0,096
*Ni	0,020	0,019
*Cr	0,034	0,037
*Y . . .	0,017	0,021 ([illegible])
Li	0,004	0,003 ([illegible])
	100	—

ТАБЛИЦА V.

Вашингтон далее продолжает таблицу (IV) (по весу). (для магматических пород) (15).

Cu	$2 \cdot 10^{-3}$
Цериев. земли . .	$1 \cdot 10^{-3}$
Be.	$x \cdot 10^{-3}$
Co.	$x \cdot 10^{-3}$
B	$x \cdot 10^{-4}$
Zn.	»
Pb.	»
As.	»
Cd.	$x \cdot 10^{-5}$
Sn.	»
Hg.	»
Sb.	»
Mo.	»
Ag.	$x \cdot 10^{-6}$
W.	»
Bi	»
Se	$x \cdot 10^{-7}$
Au.	»
Br	[illegible]
Te	x . 10[illegible]
Pl	$x \cdot 10^{-8}$

На основании имеющихся данных состава атмосферы, гидросферы и разных оболочек литосферы можно подойти к определению среднего состава всей земной коры, данному на нижеследующей таблице VI.

*) Объяснение звездочек см. в примечании (16).

ТАБЛИЦА VI.

Средний состав всей земной коры (трех оболочек) (17).

	Название элемента.	1. Знак	2. N (атомн.)	По весу. 3. Clarke 1920	4. Вернадский 1908	5[1]) Ферсман 1922	По числу атомов. 6. Ферсман 1912	7. Ферсман 1922	Примечания
1	Кислород .	O	8	50,02	49,7	—	53,81	53,81	
2	Кремний .	Si	14	25,80	26,0	—	15,85	15,85	[3])
3	Алюминий.	Al	13	7,30	7,45	—	4,76	4,76	
4	Железо. .	Fe	26	4,18	4,20	—	1,30	1,30	
5	Кальций .	Ca	20	3,22	3,25	—	1,44	1,44	
6	Натрий . .	Na	11	2,36	2,40	—	1,80	1,80	
7	Калий . .	K	19	2,28	2,35	—	1,04	1,04	
8	Магний . .	Mg	12	2,08	2,35	—	1,67	1,67	
9	Водород .	H	1	0,95	1,0	—	17,18	17,18	
10	Углерод .	C	6	0,18	0,4	0,35	0,58	0,50	
11	Титан . .	Ti	22	0,43	0,5	—	0,18	0,18	
12	Хлор . . .	Cl	17	0,20	0,2	—	0,10	0,10	
13	Фосфор. .	P	15	0,11	0,1	—	0,056	0,056	
14	Сера . . .	S	16	0,11	0,1	—	0,054	0,054	
15	Фтор . . .	F	9	0,10	0,04	0,08	0,036	0,072	
16	Барий. . .	Ba	**56**	0,08	0,04	—	0,0054	0,0054	
17	Марганец .	Mn	25	0,08	0,09		0,028	0.028	
18	Азот . . .	N	7	0,03	0,04	—	0,049	0,049	
19	Стронций.	Sr	**38**	0,02	0,01	0,02	0,0019	0,0035	
20	Литий. . .	Li	3	—	0,01	0,005	0,025	0,012	
21	Бор. . . .	B	5	—	0,01	0,001	0,017	0,002	
22	Цирконий.	Zr	**40**		0.03		0,0057	0,0057	
23	Ванадий .	V	23		0,01	0,02	0,0034	0,0068	
24	Хром . . .	Cr	24	—	0,01	0,02	0,0033	0,0066	
25	Никкель .	Ni	28	—	0,01	0,02	0,0029	0,0058	
26	Бром . . .	Br	**35**	—	0,01	—[2])	0,0021	0,0020[2])	
	Остальные элементы.	—	—	0,47					

Примечание. Порядковые номера выше 28 напечатаны жирно.

[1]) Помещены лишь отклонения от столбца 4.

[2]) Дополнить: по весу: 0,005, 0,005; по объему: Be—0,009, Cu—0,02

[3]) Сюда необходимо прибавить и **гафний**. См. прим. (20).

ТАБЛИЦА VII (18) по столбцу 5 табл. VI, табл. V
и по Вернадскому (1923 г.).

Средний состав всей земной коры по декадам.

(По весу).

% содерж.		Сумма % по весу, перечисл. на 100%.
больше 10	I. **O**, Si	75,43
1	II. Al, **Fe**, **Ca**, Na, K, **Mg**, H. . . .	22,93
0,1	III. **Ti**, **C**, Cl, P, **S**.	1,24
0,01	IV. Mn, F, N, **Ba**, **Zr**, V, **Cr**, **Ni**, **Sr**, **Br**.	0,37
10^{-3}	V. Li, **Be**, Cu, Co, **Zn**, **Pb**, B, **Ce** и ред. земли (Y, La и др.), **Th**. . . .	0,028
10^{-4}	VI. As, **Sn**, **Ar**, U, J, **Ha**.	0,0018
10^{-5}	VII. **Cd**, **Hg**, Sb, **Mo**, Nb.	0,00021
10^{-6}	VIII. Ag, **W**, Bi, Ta, Rb.	0,000022
10^{-7}	IX. **Se**, Au, **Te**, Tl, Cs, In.	0,0000025
10^{-8} и ниже.	X. **He**, **Ne**, Ga, **Ge**, **Kr**, **Ru**, Rh, **Pd**, **Xe**, **Po**, Em, **Ra**, Ac, Pa, . . .	меньше 0,0000010

ТАБЛИЦА VIII (19), по столбцу 7 табл. VI.

Средний состав всей земной коры по числу атомов.

	Число элементов.	Количество атомов %.
I. **O**, H, Si.	3	86,84
II. Al, Na, **Mg**, **Ca**, **Fe**, K.	6	12,01
III. **C**, **Ti**, Cl.	3	0,78
IV. F, P, **S**, N, Mn, Cu, Li.	7	0,291
V. **Be**, **Cr**, V, **Ni**, **Zr**, **Ba**, **Sr**, B, **Br**.	9	0,0468
Вероятная VI — **Ar**, Co, **Zn**, As, **Ce**, **Sn**, J, **Pb**.	28	всего свыше 99,96

Примечание: в таблицах VII и VIII элементы четных порядковых чисел напечатаны жирно.

ТАБЛИЦА IX.

Изображение таблицы VIII по порядковым числам (28 элементов).

(Числа положит. заряда ядра).

I.	8. 1. 14.
II.	13. 11. 12. 20. 26. 19.
III.	6. 22. 17.
VI.	9. 15. 16. 7. 25. **29.** 3.
V.	4. 24. 23. 28. **40. 56. 38.**
	5. **35.**

Примечание. Жирно напечатаны элементы чисел выше 28.

Для сравнения привожу следующую вероятную декаду:

VI. 18. 27. **30. 33. 58. 50. 53. 82.**

ТАБЛИЦА X (21).

Изображение таблицы VIII по изотопическим числам.

(Числа нейтральных электронов в ядре).

I.	0. — . 0, 1 (2).
II.	1. 1. 0, 1, 2. 0. 4. 1, 3.
III.	0. 4. 1, 3.
IV.	1. 1. 0. 0. 5. 5. 0, 1.
V.	1. 4. 5. 2, 4. **10. 22. 12.**
	1. **10.**

Жирно напечатаны изотопические числа выше 6.

Для сравнения привожу следующую декаду:

VI. 0, 4. 5. 5. 9. **24. 19. 21. 44, 45, 46.**

Вышеприведенные таблицы дают основной фактический материал для суждения о распространенности отдельных элементов в земной коре.

§ 9. На основании собранного фактического материала последовательно можно перейти к формулировке некоторых выводов, непосредственно намечающихся при наблюдении полученных результатов. В настоящем я сведу их без какой-бы то ни было попытки пока дать им толкование, к каковому я перейду позднее, в главе XI и XII.

1. Химические элементы входят в состав земной коры в количествах весьма различных, причем амплитуда этих колебаний превышает 10^9, т. е. миллиард раз.

2. Преобладающее значение в земной коре имеют только немногие элементы из 88 известных, причем можно подсчитать, что (по числу атомов, см. табл. VI, столбец 7)

первые	3	составляют	86,84 %
»	9	»	98,85
»	12	»	99,63
»	19	»	99,921
»	28	»	свыше 99,967

3. Преобладающее значение имеют в земной коре элементы легкие, с низкими атомными весами и малыми порядковыми числами. В таблице IX даны порядковые числа первых 28, из каковой мы видим, что в их числе имеется только пять элементов с порядковым числом выше 28, а именно: 29 — Cu, 35 — Br, 38 — Sr, 40 — Zr, 56 — Ba, и отсутствуют только элементы: 2 — He, 18 — Ar, 21 — Sc, 27 — Co. Два из этих элементов (Ar и Co) уже занимают первое место в следующей декаде.

4. Согласно работам Harkins'a, элемент определяется не только атомным весом (P) или порядковым номером (M), но еще изотопическим числом изотопа (n). Таблица X обнаруживает преобладание тех изотопов, числа коих наименее отклоняются от 0, и, значит, именно тех элементов, для которых атомный вес получается ближе всего удваиванием атомного числа. На эту сторону вопроса в свое время обратил внимание сам Harkins. Уже в пятой декаде наблюдается большое отклонение от этой схемы, причем сразу скачком, с середины ее, идет резкое изменение свойств.

5. Любопытно преобладание в земной коре элементов четных порядковых чисел и четных атомных весов. В таблицах VII и VIII четные элементы набраны жирно по порядковым номерам. На это явление тоже в свое время обратил внимание Harkins.

Если сравнивать атомные числа, то и в них заметно преобладание четных; если известно несколько изотопов, то преобладает обычно четный, что видно из среднего природного атомного веса.

Если мы расчислим по таблице VIII, то на четные упадет 74,84%, а на нечетные 25,12, т. е. 3 к 1. Если расчислить по таблице VII (цифры столбца 4 и 5 табл. VI), то соотношение получается 86,31 к 13,68, т. е. немного более, чем 6 к 1.

6. Более знаменательным является неравномерное распространение в земной коре элементов, построенных по разным типам. Так, если взять первые 28 элементов (табл. VII и VIII), то мы получим следующие любопытные данныя:

ТАБЛИЦА XI.

Количество четных элементов.	По весу 86,36	По объему 74,86
Количество элементов 4q	86,31	74,81 (74,81)
» » 4q + 1	0,01	0,01 (0,00)
» » 4q + 2	0,05	0,05 (0,05)
» » 4q + 3	12,68	7,91 (7,89)
Отдельно стоит водород	1,00	17,18 (17,18)

Из этого мы видим большое преобладание элементов двух типов: особенно 4q и в меньшей степени 4q + 3.

Еще интереснее картина получается, если мы точно разберем первые 28 элементов с их изотопами (по табл. VIII) (22).

ТАБЛИЦА XII.

4q + 0	O, (**Si**), (**Mg**), Ca, Fe, C, Ti, S, Cr, (**Ni**) = . . .	< 74,810
4q + 1	(Si), Be, Ba, (Br), (Mg), (Cl), (K) = ...	> 0,014
4q + 2	(Si), (Mg), N, (Ni), ((Li)), ((B)), (Fe)	> 0,054
4q + 3	Al, Na, (**K**), (**Cl**), F, P, Mn, Cu, (**Li**), V, Zr, Sr, (**B**), (**Br**) = ...	7,908
0 + 1	только H	17,180

В этой таблице помещены и изотопы в скобках, причем набран жирно тот изотоп, который в смеси преобладает. При подсчетах т о л ь к о он и принимался во внимание [1]).

На основании этой таблицы мы делаем в ы в о д:

В земной коре $^7/_{10}$ числа всех элементов принадлежит типу 4q + 0; второе место занимает водород, к которому относится несколько менее $^2/_{10}$ всех атомов коры; третье место принадлежит (менее $^1/_{10}$) атомам типа 4q + 3, тогда как на оба типа 4q + 1 и 4q + 2 приходится только около $^7/_{10000}$ долей общего числа атомов.

[1]) H a r k i n s в своих расчетах поступал иначе, основываясь на весьма еще спорных подсчетах количественного распространения отдельных изотопов одного и того же типа.

Преобладание типа 4q, а потом типа 4q + 3 сказывается не только в этих количественных подсчетах, но и в особых свойствах тех групп элементов, которые являются смесями нескольких изотопов. В них всегда средний атомный вес смеси элемента, как мы его наблюдаем в природе, ближе к типу 4q или 4q + 3, чем к другим типам, что показывает на преобладание именно этих двух типов [1]).

Наконец, особый интерес представляет список элементов типа 4q: он нам необычайно напоминает элементы, из которых состоят метеориты (см. ниже на стр. 47).

7. Очень характерно преобладание элементов, не образующих изотопы, т. е. чистых. Из первых 28, насколько нам известно, только Si, Mg, K, Cl, Li, Ni, Br и, может быть, Fe состоят из изотопов.

На элементы чистые приходится около 80% общего числа атомов.

8. Весьма характерно присутствие в списке наиболее распространенных элементов, главнейших элементов живой материи O, H, Na, Mg, Ca, Fe, K, C, Cl, P, S, N, F, причем за исключением только Mg, K, Cl и может быть Fe, все они принадлежат к элементам чистым, т. е. без известных нам изотопов.

9. При сравнении с Менделеевской таблицей наблюдается преобладание четных вертикальных групп, что можно было вывести из 5 пункта. Подавляющее число атомов принадлежит несомненно к четным рядам таблицы.

10. Как это вытекает из пункта 3, почти все распространенные элементы относятся к верхним четырем рядам Менделеевской таблицы, сразу обрываясь на Ni или Cu, т. е. на 28 порядковом числе. За этим числом начинается как бы совершенно новая область химических элементов, резким скачком отделенная от вышележащих четырех рядов.

11. Радиоактивные элементы занимают ничтожно малое место в природе, равно как другие более тяжелые химические элементы, значение коих в общем убывает с увеличением атомного веса и порядкового числа.

[1]) Те же подсчеты по отдельным оболочкам земной коры см. дальше, в главе III на стр. 37.

Резюмируем: в земной коре преобладают легкие элементы четных порядковых чисел, почти без исключения составляющие первые два больших ряда Менделеевской системы, по преимуществу построенные по типу 4, реже по типу 4q+3, принадлежащие к четным группам Менделеевской системы и в общем чаще чистые, не образующие изотопов и преимущественно нерадиоактивные. Метод количественного подсчета валового состава земной коры оказался необычайно важным для разрешения ряда геохимических проблем: числа, выражающие означенный состав, должны отныне именоваться клерковскими числами с подразделениям их на клерковские весовые и объемные числа или буквенно Кр и Кv.

II. Законы распространения элементов в земной коре.

§ 10. В этой главе мы попытаемся дать обзор ряду вопросов, связанных с распространением элементов в земной коре, причем последовательно коснемся нижеследующих вопросов:

А. — Совместное нахождение отдельных элементов.
Б. — Совместное нахождение групп элементов (ассоциаций) и связь с определенными петрографическими типами.
В. — Связь элементов с отдельными зонами земной оболочки
с отдельными геологическими факторами
с отдельными моментами геологической истории.

Хотя и в этой главе, как и в предыдущей, мы будет останавливать наше внимание только на фактической стороне вопроса, тем не менее в этой главе мы не можем не коснуться причин тех законностей, которые обусловливают те или иные явления. Вопросу о тех явлениях и тех силах, которые вызывают перемещение элементов и этим нарушают современное status quo, будет посвящена специальная глава.

Совместное нахождение отдельных элементов.

Несомненно, что в основу наших представлений о совместном нахождении элементов в природе необходимо поставить точный эмпирический материал над распространением каждого элемента в отдельности и по выяснению тех спутников, с которыми этот элемент обычно встречается в земной коре.

В этом направлении был уже давно накоплен обильный материал наблюдений, и, начиная с опытных данных Фрейбург-

ских рудокопов и Агриколы и кончая современными успехами горного дела, наметился целый ряд комбинаций элементов, вместе встречающихся в геохимических процессах. Эти законности совместного нахождения некоторых элементов уже вошли в обиход как самой науки, так и проспекторской геологической деятельности, и такие сочетания, как Te и Au или Pb и Zn, Ag, являются настолько обычными, что их считают совершенно закономерным процессом, забывая, что этому сочетанию мы до сих пор не можем дать рационального объяснения.

Причины, вызывающие совместное нахождение отдельных элементов, весьма многочисленны и далеко не исчерпываются только химическою близостью самих элементарных тел.

В общем основными причинами, обусловливающими закономерные сочетания элементов, надо признать:

1) Близость химических свойств элементов, обусловливающую образование одинаковых продуктов при геохимических реакциях земной коры. Такова, напр., близость свойств редких земель не только в лаборатории, но и в природе, редко отделяющей эти элементы друг от друга. Таковы Nb и Ta, иногда Zr и Ti, Be и Al, Ni и Co, Zn и Cd, Cu и Ag, Fe и Mn и т. д.

2) Второю важнейшею причиною, тесно связанною с первою, является способность данной группы элементов к изоморфному замещению: совместное нахождение в природе элементов одного и того же ряда Ретгерса было во всей широте впервые подчеркнуто В. Вернадским; при близости Ретгерсовских рядов к большинству вертикальных групп Менделеевской таблицы мы наталкиваемся в природе на весьма частое совместное нахождение элементов одной и той же группы, напр., K, Rb и Cs или Zn, Cd или As, Sb и Bi, или Zr и Ha и т. д.

3) Следующею причиною, согласно Vogt'у, приходится считать резкое различие в химических свойствах, обусловливающее образование прочных химических соединений, образующихся с большим выделением тепла. Такова, напр., связь S и Ba $BaSO_4$, K и O в K_2O и т. д. К этой же группе сочетаний Vogt относит Ti и Fe, V и Fe, V и Ti, Sn и W, Zn и Cu, Cu и Mn, Ba и Mn, Au и Te и т. д.

4) Далее причиною совместного нахождения элементов является генетическая связь некоторых из них, объединенных общностью

происхождения при радиоактивном распаде. Таково совместное нахождение He, Em, Ra, U и радиосвинца, выраженное в определенной количественной зависимости этих элементов друг от друга, согласно уравнению радиоактивного равновесия. Хотя распадом группы урана и тория захватывается весьма большое количество элементарных видов, тем не менее при распаде преобладает образование четных элементов, что объясняется с одной стороны выделением α-частицы, т. е. понижением на 2 порядковых числа, с другой тем, что обратно при выделении β-лучей два таких излучения нередко действуют одно после другого, благодаря чему снова разница равняется 2.

5) Равным образом в зоне биосферы совместное нахождение ряда элементов объясняется их ролью в органическом веществе и их накоплением в связи с жизнедеятельностью растительных или животных организмов. Такова обычная связь C, Fe, S, P в торфяниках, Ca с C и O в раковинах моллюсков, P, Ca и F в костях и т. д.

6) Наконец, кроме всех этих случаев, мы имеем еще длинный ряд эмпирически найденных законностей, которые не укладываются в вышеприведенные рамки и до сих пор остаются не объясненными. Таково, напр., обычное сочетание Ag, Zn, Pb или же Ba и Mn, Th и U. К этой же групие явлений относится очень постоянное и закономерное сочетание в газовых струях Ar, Kr, Xe и Ne, что Moureu и Lepape относили к поглощению их породами из первичной атмосферы (24).

§ 11. Из вышеприведенных данных мы видим, что причины, обусловливающие распределение отдельных элементов в разных зонах земной коры, весьма разнообразны и не укладываются в рамки каких-либо очевидных и простых химических законностей.

Резюмируя мы должны признать, что две больших группы причин обусловливают совместное нахождение элементов:

1) Их взаимные генетические отношения, которые мы лишь условно и не ясно наблюдаем в отдельных группах и которые более ярко выражаются в элементах радиоактивных.

2) Химические соотношения свойств, которые совместно со всем комплексом физических признаков и геохимических особенностей обусловливают перегруппировку элементов из того первичного состояния, в котором они находились под влиянием

первого положения и в котором они ныне находятся. Прекрасным примером соотношений между этими двумя факторами могут служить благородные газы, которые, благодаря своей химической инертности, не могли подчиниться второй группе причин и остались благодаря этому всюду в близких количественных соотношениях (26).

Совместное нахождение групп элементов.

§ 12. Гораздо интереснее складывается вопрос о распределении в земной коре целых групп химических элементов так, как он вырисовывается в современной геохимии.

Суммируя сведения относительно распространения отдельных элементов, мы приходим к установлению нескольких больших групп, которые я буду называть **типическими геохимическими ассоциациями**.

Эти ассоциации были намечены еще в классическом мемуаре Эли-де-Бомона (1847 г.), но затем были осложнены огромным накопившимся наблюдательным материалом и только в самые последние годы вновь были совершено самостоятельно выявлены трудами Vogt'a и De-Launay.

Эти ассоциации, на основании всего имеющегося у нас материала, отвечают четырем главным типам геохимических процессов: а именно процессам биохимического характера, процессам магматического — кислого и основного характера и, наконец, процессам жильных эманаций (с серою). С геологической точки зрения эти ассоциации, как это будет разобрано ниже, в схеме отвечают: первая — зоне биосферы, вторая — магматической зоне Sal, третья — такой же зоне Sima, причем часть ее элементов уже совершенно определенно говорит о зоне Nife. Все эти зоны пересекаются жилами с четвертою ассоциацией (27) (см. табл. XIII на след. стр.).

Несомненно, по отношению к целому ряду элементов возможны некоторые сомнения. Так, положение Ba и Sr совместно с другими элементами магмы выражено не очень определенно, но как будто в кислых породах Ba больше, чем Sr; не вполне ясно и положение Mn, все же встречающегося в основных породах в несколько больших количествах, чем в кислых.

ТАБЛИЦА XIII.

Типические ассоциации элементов (25).

I. Поверхности: H, C, N, O, благородные газы (Ne—Xe).	5 элем.
II. Кислых (салических) магм: Элементы породообразующие (по преимущ.).	H, He, Li, Be, B, O, F, Na, Al, (P), Si, (Cl), K, (Ti), (Mn), Rb, V, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, TR, Ha, Ta, W, (Au), Ra, Nt, Th, U . . . 25 элем. [1])
III. а) Основных (средних — фемических) магм.:	C, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Mn, Br*, J*, Ba, Sr . . . . 15 элемен.
б) Ультраосновных:	Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Ru-Pd, Os—Pt . . . . 8 элемен.
IV. Жильные: Металлические (по преимущ.).	S, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb, Bi . . . . 22 элемен.

Такою неопределенностью объясняется принадлежность ряда элементов к нескольким группам, причем очень разительною является двойственная природа Sn, идущая с двумя резко отличными геохимическими процессами, и отчасти Ti, разбивающегося между ультраосновными породами тихоокеанского типа и средними щелочными сиенитами атлантического.

Наконец, можно еще отметить постоянную и закономерную связь Zr с только что указанными щелочными сиенитами или же довольно обычную связь соединений Cu, As, Bi, Au с магмами определенно кислого типа.

Как ни многочисленны могут быть замечания по поводу частностей приведенной таблицы, но несомненно, что в первом приближении она намечает собою основные черты распределения элементов в земной коре (28).

[1]) Знаком TR я условно обозначаю всю группу редких земель (№ 57—71).

Установив приведенные выше четыре большие группы ассоциаций, мы уже выходим за пределы чисто химических или физико-химических законностей; перед нами уже определенное геохимическое явление, основы которого лежат в законах распределения элементов не только в одной земной коре, но и во всем мироздании.

§ 13. Второй вопрос, который сейчас напрашивается и непосредственно вытекает из предыдущего, это связь химических элементов с определенными горными породами и определенными типами пород. Уже таблица III на стр. 16 показывает нам в первом приближении состав кристаллических пород и разных типов осадочных. Мы зашли бы слишком далеко, если бы попытались далее расшифровать эти цифры и подробнее осветить этот вопрос, составляющий основу современной геохимии. Разнородные химические процессы в разных областях земной коры перегруппировывают соединения, то рассеивая химические элементы в одних местах, то концентрируя их в других (29).

Гораздо важнее для нас связь определенных элементов с разными типами магматических пород. С одной стороны здесь намечается совершенно определенная связь с кислотностью пород, как это отмечено в § 12; здесь в общей схеме приуроченность определенных элементов к разным группам пород несомненна и имеет глубоко закономерный характер. Гораздо интереснее и сложнее вопрос о связи химических элементов с теми двумя большими группами магм, которые Becke и Prior выделили в две большие области: пород тихоокеанской (Pacific) и атлантической магм (Atlantic) (30).

Еще Becke указывал на то, что в атлантических породах преобладают определенные элементы, но при этом он ограничивался только элементами породообразующих минералов. Между тем мы хорошо знаем, что отличие этих магм идет глубже, и что к атлантической особенно приурочено увеличение некоторых элементов, а именно: P, Cl, Zr, Ti, TR, Th. Накоплением этих элементов обусловливается своеобразие минеральных ассоциаций в большинстве крупных атлантических массивов (Гренландия, Ю. Норвегия, Кольский полуостров и т. д.)

Связь редких и тяжелых элементов с различными петрографическими типами до сих пор еще недостаточно освещена, хотя обещает ряд интереснейших законностей (31).

§ 14. Наконец, третий вопрос вводит нас вообще в соотношение между химическими элементами и различными геологическими процессами.

Распределение химических элементов в отдельных областях является результатом химических и физических процессов, идущих в земной коре на разных ее глубинах и, потому, зависит непосредственно от тех геологических явлений, которые наблюдались в данной области в течение всей ее геологической истории. В виду этого в земной коре могут быть намечены отдельные самостоятельные районы, обнимающие области распространения каких-либо крупных геологических факторов и объединяющие собою совокупность физико-химических процессов, как результат первых.

Такими областями можно намечать, напр., Альпийскую складчатость, Феноскандинавский щит, Уральский хребет и т. д. Каждая из этих областей земной поверхности характеризуется комплексом химических элементов, играющих в ней роль и обладающих большею или меньшею в ней распространенностью. Совокупность химических элементов, встречающихся в таких геологических обособленных областях земной коры, я называю естественною геохимическою ассоциацией; сравнение-же таких естественных ассоциаций с типическими и установление сходства или различия между ними и составляет одну из наших задач геохимического исследования земной коры (32).

Изучая таким образом геохимические ассоциации элементов, свойственные определенным районам России, я убедился, что такая ассоциация в значительной степени охарактеризовывает каждый данный район, являясь конечным выражением — результатом геохимических и физических процессов, которые шли и идут в данной области.

Эти области как-бы расширяют старые понятия Spurr'а о металлогенетических провинциях и вместе с тем связывают их с металлогенетическими эпохами Линдгрена (33).

§ 15. Подведем итоги сказанному о распределении групп элементов в земной коре:

1. В земной коре мы наблюдаем закономерное сочетание между собою не только отдельных элементов, но и целых групп.

2. Основные группировки определяются четырьмя главными группами: поверхностных, кислых, основных и металлических элементов, в основе чего лежит разнообразие термодинамических условий земной коры.

3. Определенные сочетания элементов образуют геохимические ассоциации: мелкие различия в них обусловливают отклонения местных естественных ассоциаций каких-либо районов от типических.

4. Объединяя в себе совокупность всех элементов данного участка земной коры, геохимические ассоциации включают и петрографические провинции (comagmatic regions) Вашингтона и металлогенетические провинции Spurr'a.

5. Образование определенной геохимической ассоциации является в результате миграции элемента или законов его первичного накопления, и, потому, каждая ассоциация должна быть рассматриваема, как сложный результат явлений космических, геофизических и геологических.

6. Миграция элементов определяет собою изменение состава ассоциаций во времени, чем определяется существование определенных элементогенетических эпох.

7. Изменение геохимических ассоциаций с глубиной является одним из важнейших процессов нашей планеты, позволяющим глубже войти в природу распределения элементов на земле.

III. Законы распределения элементов на разных глубинах.

§ 16. Теперь мы можем перейти к рассмотрению основных вопросов связи элементов с теми или иными частями земной коры. И в этой главе, как и в предыдущих, мы будем весьма кратки, резюмируя лишь основные достижения современной геохимии и не останавливаясь на деталях или на объяснении самого фактического материала.

Наблюдается ли какое-либо закономерное изменение среднего состава земной коры с глубиною?

На этот вопрос совершенно очевидно приходится ответить положительно: уже существование основных трех оболочек, которые Вернадский называет фазовыми, наводит на эту мысль: атмосфера, гидросфера и литосфера.

В первом приближении мы можем наметить следующую схему преобладания элементов в разных зонах земной коры:

ТАБЛИЦА XIV.

Верхние части атмосферы	H, He, геокороний (?) (34)
Гидросфера	H, O, Na, Cl, отчасти S.
Литосфера (35).	
Поверхн. зоны	O, H, Si, Al, C — зона Sal.
Средние »	O, Si, Al, C, Ca, Mg, K, Na — зона Sima.
Глубинн. »	(O), Si, Fe, Cr, Ni, Cu — зона Nife.

Эти данные весьма интересно сравнить с таблицею VIII или VII, в которых элементы распределены в порядке уменьшения их значения.

Первый элемент в них — кислород, один из важнейших элементов земной поверхности, входящий в состав воздуха и обусловливающий жизнь на земле (атмосферу).

Первый и второй, вместе взятые, дают воду, т. е. основное вещество второй зоны — гидросферы.

Первые четыре элемента вместе представляют глину, т. е. один из обычных продуктов поверхностных зон разрушения (зоны выветривания — гипергенеза).

Первые десять элементов дают нам представление о всей зоне катаморфизма и цементации, т. е. о наиболее внешних зонах литосферы.

Иначе говоря, в самых первых элементах нашей таблицы отражается вертикальная зональность геохимических процессов земли, и по мере присоединения все новых и новых элементов последовательно с самой крайней зоны земли — атмосферы, — мы опускаемся в более глубокие зоны: сначала в гидросферу, потом в отдельные оболочки литосферы.

Основные черты изменения состава с глубиною могут быть сведены к следующим пунктам:

В пределах доступной нам земной коры мы наблюдаем накопления более легких элементов во внешних оболочках и увеличение удельного веса их — в более внутренних. Это повышение значения более тяжелых элементов с глубиною захватывает лишь первые 28 — 30 элементов, причем эта законность для более тяжелых элементов с атомными весами выше 60 не наблюдается.

С глубиною мы наблюдаем уменьшение O и Si, увеличение Fe, Cr, Ni и Mg.

Только что намеченные нами законности охватывают лишь главнейшие элементы таблиц VII и VIII. Имеются ли какие-либо данныя по этому вопросу и для других элементов? Как только что было указано, в общем для тяжелых элементов мы не наблюдаем законности увеличения содержания их с повышением глубины. Наоборот, как это будет отмечено ниже, большая часть элементов нижней части Менделеевской таблицы оказывается связанною с такими процессами, особенно глубинное происхождение коих мы должны совершенно определенно отвергать. Так, напр., такие элементы, как Nb, Ta, Zr, Mo, W, Th

или U (порядковые номера 41, 73, 40, 42, 74, 90, 92), определенно связаны с кислыми магмами, положение которых в идеальном разрезе земной коры несомненно должно быть отнесено к более наружным частям силикатной магматической коры земли.

Это особенно поучительно по отношению к радиоактивным элементам, которые с глубиною определенно уменьшаются, как это можно видеть из среднего содержания радия в породах разного типа: так в ультраосновных глубинных породах количество радия в 6 раз меньше, чем в кислых (гранитах).

§ 17. Пока мы только качественно характеризовали изменение нашей земной коры с глубиной. Перейдем теперь к более *точным подсчетам*, которые в настоящее время, благодаря работам Вашингтона, Дэли, Осанна и других, возможны с большой детальностью. И в данном случае все тот же метод определения среднего состава земной коры, выдвинутый Clarke, приводит к выдающимся результатам (36).

ТАБЛИЦА XV.

Средн. состав кристалл. пород (37)

(в весов. процентах).

	граниты	базальты	перидотиты
SiO_2 . . .	69,92	49,06	44,39
TiO_2 . . .	0,39	1,36	0,88
Al_2O_3 . . .	14,78	15,70	5,14
Fe_2O_3 . . .	1,62	5,38	3,88
FeO . . .	1,67	6,37	6,70
MnO . . .	0,13	0,31	0,19
MgO . . .	0,97	6,17	29,17
CaO . . .	2,15[1])	8,95	6,31
Na_2O . . .	3,28	3,11	0,64
K_2O . . .	4,07	1,52	0,76
H_2O . . .	0,78	1,62	1,80
P_2O_5 . . .	0,24	0,45	0,14
Ср. уд. вес	2,66	2,93	3,18

[1]) в том числе BaO — 0,06 и SrO — 0,02.

ТАБЛИЦА XVI.

Средн. состав кристалл. пород (37)

(по числу атомов).

	граниты	перидотиты
O	62,03	57,35
H	1,77	4,12
Si	23,76	15,19
Al	5,93	2,08
Na	2,17	0,43
Mg	0,49	14,94
Ca	0,75	2,32
Fe	0,89	2,93
K	1,77	0,33
Ti	0,10	0,23
P	0,07	0,04
Mn	0,04	0,06
Ba	0,01	—
Sr	меньше 0,01 (0,004)	—

В нашем анализе цифрового материала мы будем исходить из точных цифровых данных о среднем составе трех типов пород: гранитов, базальтов (габбро) и перидотитов. Эти три типа, несомненно, в общих чертах характеризуют наши основные оболочки Sal, Sima, Nife, и, если в средний состав пород не входят многочисленные жильные элементы, свойственные этим зонам, то все же сами породы в достаточно яркой степени характеризуют количественное изменение магматических пород с глубиною (35).

Из таблицы XVI мы видим, что порядок элементов с глубиною меняется, а именно:

Граниты:

O, Si, Al, Na, H, K, Fe, Co, Mg, Ti, P, Mn, Ba, Sr.

Перидотиты:

O, Si, Mg, H, Fe, Ca, Al, Na, K, Ti, Mn, P.

Иначе говоря, кверху, к наружной оболочке, увеличивается содержание элементов:

O, Si, Al, Na, K, P, Ba, Sr.
уменьшается: Mg, Ca, Fe, Ti.

Эти подсчеты вполне согласуются с теми общими замечаниями, которые мы вывели выше.

Перейдем теперь, далее, к более углубленному анализу наших взаимоотношений между поверхностными и глубинными породами с точки зрения строения атома.

Для рассмотрения этих законностей ограничимся первыми 28 порядковыми номерами, т. е. наиболее легкими элементами, кончая Ni. Мы уже видели, что в сущности из них, составляющих первые четыре ряда Менделеевской таблицы, состоит земная кора и метеориты, ибо на остальные элементы приходится только несколько сотых по весу (или по числу атомов) коры. Поэтому мы остановимся только на анализе этих первых 28 элементов, образующих доступное нашему исследованию вещество.

Эти элементы с их изотопами могут быть разбиты на четыре группы, исходя из общепринятого выражения их атомных

весов, в виде общей формулы 4 q + a, где a больше 0 и меньше 4, а под q подразумеваются порядковые числа от 1 до 15.

Это распределение дано на таблице XVII.

ТАБЛИЦА XVII.

Таблица первых 28 химических элементов.

4q	4q + 1	4q + 2	(4q — 1) 4q + 3	
He	H	((Li))	Li	
C			Be	**Примечание.**
O			B	В скобках поставлены изотопы, имеющие меньшее значение, в двойных — изотопы, или не вполне доказанные, или совершенно не играющие роли при образовании сложного элемента.
Ne		((B))	F	
Mg	(Mg)	N	Na	
Si	(Si)	(Ne)	Al	
S	(Cl)	(Mg)	P	
Ar	(K)	(Si)	Cl	
Ca			K	
Ti	Sc		V	
Cr			Mn	
Fe		((Fe))	Co	
Ni		Ni		

Исходя из этого распределения элементов по группам, можно перечислить распространение отдельных групп в разных оболочках земной коры, а для сравнения и в метеоритах (XVIII).

ТАБЛИЦА XVIII.

Распространение отдельных групп элементов (по типу ядра) (в % числа атомов).

	Средний состав земной коры.	Средний состав гранитов.	Средний состав перидотитов.	Средний состав метеоритов.
4q + 0	74,81	88,02	92,96	96,39
4q + 1	0,01	0,01	—	?
4q + 2	0,05	0	0,02(?)	1,23
4q + 3	7,80	9,98	2,94	2,35
1 (H)	17,18	1,77(?)	4,12(?)	?

Рассмотрение этой таблицы приводит нас к любопытному выводу, что поверхностная оболочка земной коры отличается от более глубоких зон значительным увеличением типа 4q+3 на счет типа 4q+0.

Если мы вместе с Daubrée, V. M. Goldschmidt'ом, Wiechert'ом, Prior'ом, Farrington'ом, П. Чирвинским и другими примем наиболее вероятное предположение, что центральные части земной коры по составу близки к составу метеоритов[1]), то мы должны будем сказать, что в общем от поверхности к центру идет увеличение элементов наиболее устойчивого ряда 4q+0 и обратно—убывает менее устойчивая группа 4q+3.

§ 18. Эта зависимость сделается еще более очевидною, если мы от количественных подсчетов перейдем к качественному анализу таблицы XVII.

В ней бросаются в глаза первый и последний столбцы этой таблицы. Их интересно сравнить с списками элементов, характерных для кислых с одной стороны и основных магм с другой, так, как они намечены в работах De-Launay и Vogt'a (см. выше § 12).

Привожу для сравнения две таблицы для этих двух групп пород, причем группу ультраосновных пород земной коры можно параллелизовать с составом метеоритов (см. табл. на стр. 39).

В третий столбец мною помещены элементы с соответственным изотопическим числом, а в четвертом—отмечены те элементы, кои распадаются под влиянием α-частиц в условиях опыта Резерфорда. В скобки поставлены элементы, играющие меньшую роль.

Не входя в детальное рассмотрение и объяснение этих таблиц, я только подчеркну несомненный, резко выраженный параллелизм в обоих таблицах между элементами вертикальных столбцов, а именно:

В ультраосновных (глубинных) магмах (и метеоритах) в общем преобладают элементы, построенные по типу 4q, очень устойчивые, с изотопическим числом равным нулю или числу кратному 4, не распадающиеся от действия α-лучей в условиях опытов Резерфорда.

[1]) К этому вопросу мы перейдем в следующей главе.

ТАБЛИЦА XIX (38).

Гранитные магмы.

Наиболее главн. в гранит. магм.	4q + 3	n = 1 или 5.	Распад от α-частицы
Li	Li	Li	
Be	Be	Be	
B	B	B	B
F O	F	F	F
Na (Mg)	Na	Na (Mg)	Na
Al Si	Al	Al (Si)	Al
(P)	P	P	P
(Cl)	Cl	Cl	N
K	K	K	
Ti	V	V (?)	
(Mn)	Mn	Mn	
	Co	Co	

Ультраосновные магмы.

Наиболее главн. в основн. породах.	4q	n = 0 или 4.	Распад от α-частицы
	He	He	
		(Li) (B)	
C	C	C N	
(O)	O Ne	O Ne	
Mg	Mg	Mg	
Si, P	Si	Si	
S	S	S	
	Ar	(Ar)	
Ca	Ca	Ca	
Ti	Ti	Ti	
V			
Cr	Cr	Cr	
Mn			
Fe	Fe	Fe	
Co			
Ni	(Ni)	(Ni)	

Таким образом, более глубокие и, может быть, глубинные части земной коры характеризуются большею устойчивостью входящих в них химических элементов, к каковому выводу мы пришли и при подсчете количественных соотношений (см. таблицу XVIII).

В противоположность ультраосновным породам, кислые породы, связанные с более поверхностными оболочками земной коры, содержат в своем составе в значительном количестве элементы менее устойчивые, построенные по типу 4 q + 3 (частью 4 q + 2), иногда способные распадаться при действии α-лучей.

Если взять по порядку список элементов типа 4 q + 3, то получается полная аналогия с теми элементарными телами, которые характерны для гранитных пегматитов, на основе, однако, Si и O.

Эта картина обогащения наружной силикатной коры менее устойчивыми элементами, по взглядам Harkins'a, или более склонными к рассеиванию, по идеям Вернадского, еще может быть дополнена тем, что и неустойчивые атомы конца Менделеевской таблицы, т. е. радиоактивные, по преимуществу связаны с породами кислыми.

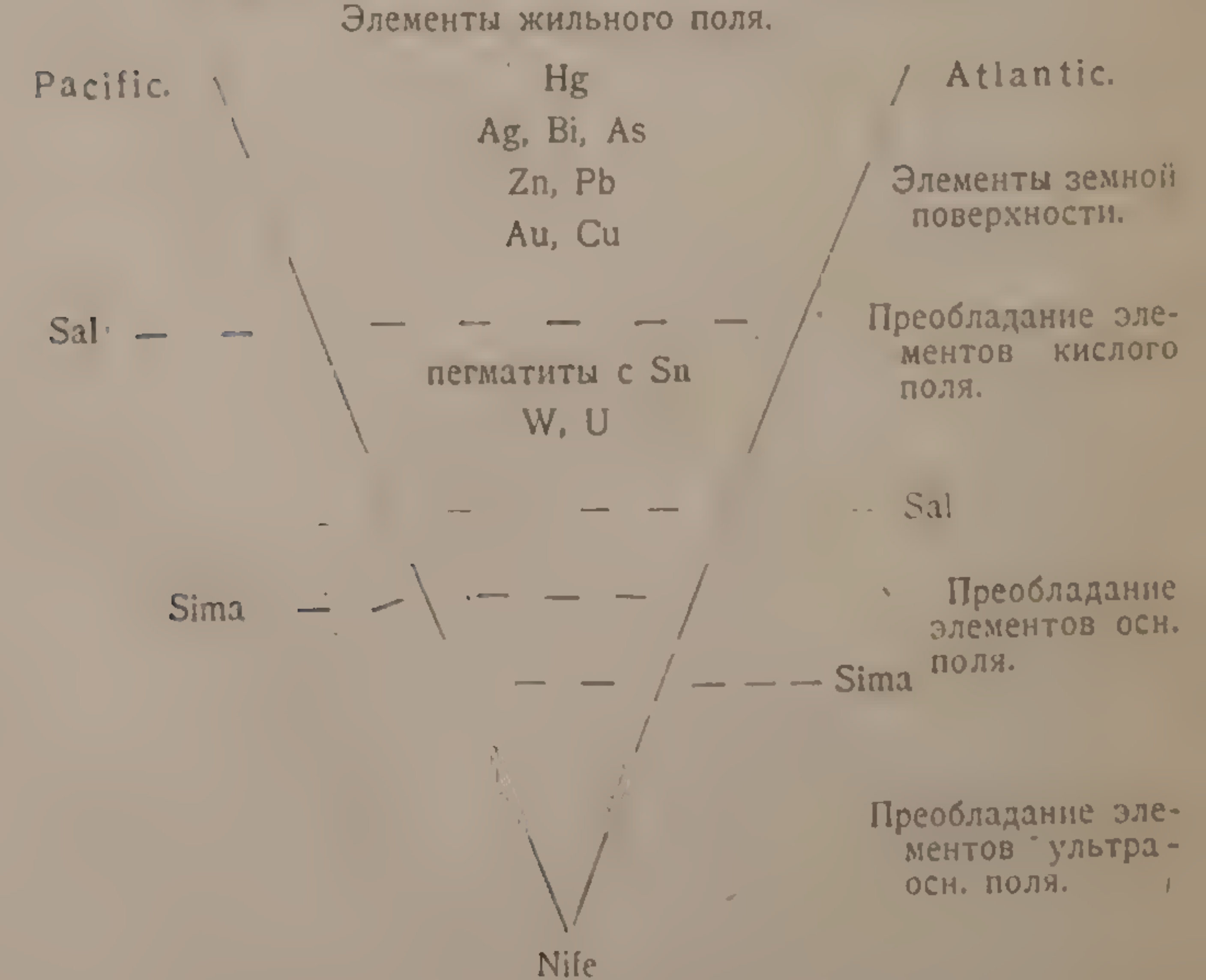
Объяснение этих законностей не может быть сейчас дано: оно лежит в более глубоких соотношениях между природою атомов и их распределением в природе.

§ 19. Таким образом, на основании полученных выше данных, мы можем нарисовать следующую схему распределения элементов в земной коре, принимая с одной стороны во внимание отличие тихоокеанских и атлантических магм, с другой стороны различие в химическом составе кислых и основных магм.

В этой схеме группы элементов относятся к классификации элементов на стр. 29, по большим четырем полям.

ТАБЛИЦА XX.

Схематический разрез через земную кору.



Во времени эта схема намечает изменения закономерного характера и притом в нескольких направлениях: в первые геологические эпохи преобладали магмы pacific и в значительной степени магмы Sal; в виде древних гранитов и гранито-гнейсов они нам хорошо известны. Из жильных элементов, можно думать вместе со Spurr'ом, благодаря эрозии верхних частей древних образований, сохранились только более глубокие части, чем и объясняется обилие в них элементов гранитно-пегматитового типа, золота и меди.

По мере хода геологической истории процессы перемещались слева направо; в новейшее время магмы атлантики стали преобладать (более глубокие), в других местах эрозия обнажила более глубокие зоны Nife ранее застывших массивов, а жильные процессы третичной эпохи принесли с собою металлы вышележащих зон жильного поля с Zn, Pb и т. д.

Такова та схема, которая, согласно с наблюдениями, в основных чертах объясняет главные черты геологических особенностей земной коры. Другие подходы к решению этого вопроса см. ниже.

§ 20. Резюмирую вкратце основные черты распределения элементов на разных глубинах:

1. Наблюдается совершенно определенное и закономерное изменение состава земной коры с глубиною.
2. С геохимической точки зрения мы в ней различаем три оболочки по характеру аггрегатного состояния: атмосферу с преобладанием газов — кислорода и азота, гидросферу с преобладанием кислорода и водорода, и твердую земную кору — литосферу.
3. Литосфера делится в самом первом схематическом подходе на три зоны: Sal, Sima, Nife; представителем первой могут явиться граниты, переходные формы к Nife образуют перидотиты.
4. С углублением идет увеличение элементов: Mg, Ca, Fe и Ti.
5. Наружные оболочки по сравнению с более глубокими отличаются присутствием элементов, ядро которых построено по типу 4 q + 3, хотя и в них вообще преобладают элементы типа 4 q.

6. С точки зрения современных теорий строения атома и гипотез Гаркинса, преобладание в земной коре 4 q показывает преимущественное распространение элементов устойчивых, долговечных, неразрушаемых.
7. Так называемые щелочные магмы атлантического типа связаны с несколько большими глубинами, чем им соответствующие щелочноземельные.

IV. Химический состав центрального ядра земли.

§ 21. Попрежнему наши знания о внутреннем строении ядра земли остаются без достаточного освещения, и, в то время как успехи нашего познания химии вселенной за последние годы сделали гигантские шаги вперед, знание химии ядра почти не подвинулось вперед (39).

Сейчас нам известно, что удельный вес всей земли между 5,5 — 5,9 и что в среднем он равняется 5,53, тогда как удельный вес покрова около 2,8. Мы знаем сейчас, что центральные части по своим механическим свойствам должны отвечать твердым металлам, и что внутреннее ядро по своим свойствам тождественно с телами твердыми (J o h n s t o n, 1915). Мы знаем, что землетрясения на глубине $^1/_2$ радиуса встречают перемену в свойстве оболочек, что поддерживает мнение геофизиков, что вслед за внешнею корою с удельным весом около 2.8 — 3 следует средний слой удельного веса 7,2 и далее — центральное ядро с удельным весом 9,1.

Мы совершенно не знаем температуры центральных частей, ибо по T h i e n e они колеблются между 2.000 и 8.000° C., по K l a u s s m a n n'y достигают 182.000° Abs., а по расчетам L u n n максимум 20.000° C.

Магнитные свойства земли, не отвечающие свойствам пород земной поверхности, высокий удельный вес и невозможность, согласно опытам Геофизической Лаборатории в Вашингтоне, допустить в глубинах сжатие твердого вещества до таких удельных весов, заставляет нас у с л о в н о принимать для земного ядра следующее:

1. Ядро составлено из более тяжелых металлов, в частности, вероятно, из железа и никкеля.

2. Изменение состава земной коры с глубиною тоже приводит к вероятному преобладанию в глубинах Fe, Mg, Ni.
3. Все имеющиеся данныя говорят против допущения в глубинах особой роли самых тяжелых металлов Менделеевской системы.
4. По отношению к радиоактивным элементам все данные говорят определенно о понижении их содержания с глубиною, а сравнение с метеоритами заставляет признать наиболее вероятным в глубинах полное или почти полное отсутствие радиоактивных элементов.
5. В глубинах как будто бы преобладают элементы типа устойчивого 4q, т. е. наиболее устойчивые, нераспадающиеся типы вещества.
6. Вероятно большое сходство в составе центрального ядра земли и железных метеоритов (ср. Daubrée, Baur).
7. На основании изучения сейсмических волн K. Wegener и Wiechert признают наиболее вероятным существование трех зон:

Наружная (Sal, Sima)	до 1200 км.	со скорост. волн продольных, быстро растущими до	7 — 12 км/сек.
Средняя (отч. Nife)	. . до 2900 км.	с довольно постоянными скоростями	12 — 13 км/сек.
Ядро	. . до центра	со скорост., быстро падающими и вновь достигающими	8 — 11 км/сек.

8. Изучение сейсмических волн не дает пока ясной картины о физическом состоянии центральных частей земли, но несомненно намечается несколько точек, отвечающих быстрому изменению упругих свойств, а именно (от поверхности): 120 км., 1200 км. (менее отчетливый скачок), 2900 км. (очень резкий).

Таковы те главнейшие выводы, которые мы с большой осторожностью можем сделать по отношению к центральным частям нашей планеты. Эти выводы еще не позволяют слить в единую картину состав земной коры и центральных частей; к ним мы вернемся при общей концепции строения всего земного шара в специальной главе после рассмотрения природы и характера метеоритов, которые проливают свет, правда только путем аналогий, на химию центральных частей нашей планеты.

V. Химический состав метеоритов.

«Средний состав метеоритов есть средний состав земли».

Чемберлен и Салисбюри 1907.

§ 22. Переходим теперь к изучению состава метеоритов, космическое происхождение которых несомненно, хотя и не удается до сих пор более определенно связать их с определенным типом космических тел (40).

Метеориты довольно резко распадаются на две группы: каменные и железные. Состав этих двух групп резко различен и позволяет их рассматривать отдельно (41). Хотя в коллекциях обычно преобладают железные метеориты, но ошибочно считалось, что они, если и не преобладают, то не уступают числу падений каменных. Однако, такое мнение ошибочно и объясняется тем, что железные метеориты легко обнаруживаются, собираются часто независимо от падения и т. д. Merrill в 1919 г. на основании детального изучения выяснил, что из имеющихся в собраниях железных метеоритов известно лишь 5% падения, мезосидеритов 16%, а каменных 87%. Поэтому, учитывая средний состав всех метеоритов, необходимо брать отношение каменных к металлическим никак не более, чем 80 к 20.

В метеоритах, несмотря на все поиски, не найдены As, Sb, Au, F, Sn, W, U, Zn, Ba, Sr, Zr; в следах обнаружены Pt, Pd, Jr, Ru, V (42).

Свинец сначала отвергался, но потом был доказан с несомненностью; точно также позднее был доказан радий, причем по последним данным в каменных метеоритах содержание радия равняется в среднем 1/4 земного, а в железных — почти равно нулю.

Любопытны некоторые правильности в составе метеоритов; так, напр., по данным Crookes, хром всегда присутствует в каменных метеоритах и, наоборот, почти всегда отсутствует в же-

лезных. При внимательных анализах медь обнаруживается во всех железных метеоритах.

Очень любопытен состав большинства хондритов, необычайно повторяющих такое содержание: Nife—9, троилита 6, оливина 44, бронзита 30, олигоклаза—10, хромита и остальных—1.

Таблица XXI.

Средний состав каменных метеоритов.

	I.	II.	III.
	Merrill.		Farrington.
	1915	1920[1]	1911
SiO_2	38,68	38,98	39,12
TiO_2	0,18	—	0,02
SnO_2	—	—	0,02
ZrO_2	—	—	—
Al_2O_3	2,88	2,75	2,62
Fe_2O_3	—	—	0,38
Cr_2O_3	0,47	0,84 (хромит)	0,41
V_2O_3	следы	—	—
Fe	11,98	11,61	11,46
Ni	1,15	1,32 (Ni + Co)	1,15
Co	0,07		0,05
FeO	14,58	16,54	16,13
NiO	0,48	—	0,21
CoO	0,06	—	—
CaO	2,42	1,77	2,31
BaO	—	—	—
MgO	22,67	23,03	22,42
MnO	0,29	0,56	0,18
SrO	—	—	—
Na_2O	0,87	0,95	0,81
K_2O	0,21	0,33	0,20
Li_2O	следы	—	—
H_2O	0,75	—	0,20
P_2O_5	0,26	—	0,03
P	—	0,11	0,04
S	1,80	1,85	1,98
Cu	0,014	—	—
C	0,15	—	0,06
Cl	0,08	—	—
F	?	—	—
CO_2	?	—	—
SO_3	—	—	—
Me, Mn, Cu, Sn и др.	—	—	0,02
Сумма	100,04	100,64	99,82

[1]) По Clarke. Data of Geochem. 1920 (IV Edit). Wash. p. 41.

ТАБЛИЦА XXII.

Состав железных метеоритов по Farrington'у (1911) и П. Чирвинскому (1919).

	1919.	1911.
Fe	90,57	90,85
Ni	8,71	8,52
Co	0,69	0,59
P	0,22	0,17
S	0,16	0,04
C	0,11	0,03
Cu	0,06	0,02
Cr	0,06	0,01
Сумма	100,58	100,23

ТАБЛИЦА XXIII.

Средний состав каменных метеоритов.

Перечислено из Merrill'я (столб. II табл. XXI).

O	35,95
Fe	24,67
Si	18,27
Mg	13,89
S	1,85
Al	1,46
Ni, Co	1,32
Ca	1,26
Na	0,70
Mn.	0,43
Cr	0,36
K	0,27
P	0,11
Сумма	100,54

Столбец A (табл. XXIV стр. 48) получен Farrington'ом, принявшим количество (весовое) железных метеоритов в 2,57 раза больше каменных; поэтому в его подсчет окончательного состава вошел столбец таблицы XXII с коэффициентом несколько бо̀льшим, чем 2,5, что значительно повысило Fe и Ni.

Согласно вышесказанному и согласно данным целого ряда авторов, я сочетал таблицы XXII и XXIII таким образом, что принял железные метеориты с коэффициентом 0,25.

Отсюда мы получаем следующий порядок содержания элементов в метеоритах (по весу):

По Wahl'ю (1910): Fe 90% : O, Si, Mg, Al, Ca, Ni, Na, S, K, Co, P, C, H ... кажд. по 1%..:

По Farrington'у (1911): Fe, O, Ni, Si, Mg, S, Ca, Co, Al, Na, P, Cr, K, C, Mn.

По Ферсману (1922): Fe, O, Si, Mg, Ni, S, Al, Ca, Na, Mn, Cr, Co, K, P, (C, Cu).

ТАБЛИЦА XXIV.

Средний состав всех метеоритов (по весу).

	A. По Farrington'у. 1911	B. По Ферсману. 1922
Fe	72,06	37,90
O	10,10	28,78
Ni	6,50	2,66
Si	5,20	14,61
Mg	3,80	11,11
S	0,49	1,49
Ca	0,46	1,00
Co	0,44	0,21
Al	0,39	1,16
Na	0,17	0,56
P	0,14	0,12
Cr	0,09	0,29
K	0,04	0,21
C	0,04	0,01
Mn	0,03	0,34
Ост. элем.	0,05	0,01 (Cu)
	100,00	100,46

Если мы перечислим цифры столбца B таблицы XXIV на число атомов, как это было мною принято при выражении состава земной коры, то получим следующие цифры:

ТАБЛИЦА XXV (43).

Состав метеоритов по числу атомов.

(По столбцу B табл. XXIV).

O	49,15 (53,16)	Na	0,66
Fe	18,54 (12,79)	Mn	0,17
Si	14,11 (15,35)	K	0,15
Mg	12,48 (13,15)	Cr	0,15
S	1,26 (1,46)	P	0,10
Ni	1,23	Co	0,10
Al	1,17	C	0,02
Ca	0,68	Сумма	99,97

Откуда мы устанавливаем порядок по объему (числу атомов):

O, Fe, Si, Mg, S, Ni, Al, Ca, Na, Mn, K, Cr, P, Co, C.

Этот порядок сравнительно мало отличается от порядка, принятого нами на стр. 47

Если мы разобьем элементы по декадам, то получим:

ТАБЛИЦА XXVI.

	По весу.
I. Fe, O, Si, Mg	= 92,40
II. Ni, S, Al, Ca	= 6,31
III. Na, Mn, Cr, K, Co, P	= 1,73
IV. C, Cu и др.	= 0,02

ТАБЛИЦА XXVII.

	По числу атомов.
I. O, Fe, Si, Mg	= 94,28
II. S, Ni, Al	= 3,66
III. Ca, Na, Mn, K, Cr, P, Co	= 2,01
IV. C и др.	= ? (около 0,05)

§ 23. Подведем некоторые итоги относительно состава метеоритов:

1. Метеориты состоят из небольшого числа элементов с очень большими относительно количествами.

2. Наибольшее значение (по числу атомов) имеют первые 7 элементов (O, Fe, Si, Mg, S, Ni, Al), на которые приходится 97,94%.

3. В метеоритах главное значение принадлежит элементам средних атомных весов (между 16 и 59), порядковых чисел между 8 и 28, с малыми изотопическими числами.

4. Крупная аналогия с составом земной коры заключается в том, что в той и другой области распространенность элементов резко обрывается на 28-29 номере, и далее следуют уже элементы весьма малого значения.

ТАБЛИЦА XXVIII.

(По числу атомов).

		Атомн. вес A.	Пор. число M (озелея).	Изот. числ. n	Выражение.
O . .	I.	16	8	0	4q
Fe .		55,86	26	4	4q (и из.)
Si . .		28,3	14	0, 1	4q, (4q + 1)
Mg .		24,32	12	0, 1, 2	4q, (4q+1), (4q+2)
S . .	II.	32,0	16	0	4q
Ni . .		58,68	28	2, 4	4q + 2, 4q
Al . .		27,1	13	1	4q + 3
Ca .	III.	40,07	20	0	4q
Na .		23,0	11	1	4q + 3
Mn .		54,93	25	5	4q + 3
K . .		39,10	19	1	4q + 3, (4q + 1)
Cr .		52	24	4	4q
P . .		31,04	15	1	4q + 3
Co .		58,97	27	5	4q + 3

5. В противоположность наружной части земной коры отсутствуют элементы более легкие, так что наименьший атомный вес в первых 14 элементах принадлежит кислороду — 16.

6. Состав метеоритов весьма однороден по типу, и в нем представлена группа элементов главным образом 3 — 4 малого ряда Менделеевской таблицы.

7. Значительное сходство наблюдается между средним составом метеоритов и средним составом более глубинных пород (основных).

8. Весьма характерным для метеоритов является преобладание в них элементов типа 4q, подчиненную роль играет тип 4q + 3.

9. Метеориты, в общем, как по характеру своих элементов, так и по типу строения атомов, совершенно тождественны

с элементами наиболее глубоких зон земной коры и, по всей вероятности, еще ближе отвечают составу центральных частей нашей планеты.

10. В противоположность идеям Пиккеринга и некоторых других, резко отделявших каменные метеориты от металлических по их происхождению, Prior доказал общность магматического происхождения и тех, и других (42).

11. Несмотря на полную невыясненность космического происхождения метеоритов, наиболее вероятным является или связь их с астероидами (Daubrée, Tschermak, Suess), или же, что более вероятно (Faye и большинство астрономов), — с кометами.

12. Условия кристаллизации мезосидеритов и палласитов заставляет думать, что они образовались на телах в условиях весьма слабого мирового тяготения.

13. Метеориты не обнаруживают никаких элементов, не свойственных земле.

VI. Причины распределения химических элементов в земной коре.

Теории космохимического и физикохимического характера.

> «Химия и физика должны ответить на проблемы происхождения элементов, минералогия должна подбирать факты и критически их просматривать».
>
> Ниггли. 1921.

§ 24. Совершенно понятно, что одновременно с выяснением вопроса о составе зёмной коры и одновременно с изучением метеоритов возникали попытки объяснить существующий химический порядок распределения элементов на нашей планете, часто выходя далеко за границы фактического материала и, к сожалению, теряясь в дебрях научной фантазии, космогонии и натурфилософии.

После того как в 1817 г. Döbereiner впервые наметил преобладание в земной коре элементов с малыми атомными весами, мы первое более стройное изложение основных проблем химического состава земли встречаем в знаменитом мемуаре Elie-de-Beaumont (44). Уже здесь намечалась в неясной форме идея объяснения состава, связанная с представлением о электрических токах с возникающим от них перераспределением элементов в глубинах.

Значительно позднее, только в конце XIX века, получил большое развитие ряд идей о превращении элементов и их постепенной эволюции на космических телах. Эти идеи носили частью чисто спекулятивный характер, но, выдвинутые такими

крупными авторитетами, как Crookes, Lockyer или Н. Морозов (45), они нашли себе позднее крупную поддержку в явлениях радиоактивного распада и ныне возрождаются уже на основе фактических завоеваний современной физики.

Когда с 1889 г. началось новое течение в вопросах химии земной коры и Clarke положил начало точному количественному подсчету, одновременно с этим им же была высказана идея, что различное распространение отдельных элементов должно быть связано с вопросом об их первичном генезисе (46); однако, сам он скоро оставил в стороне вопросы объяснения найденных им цифровых данных и посвятил себя улучшению и уточнению средних чисел распространенности отдельных элементов.

Новое течение было выдвинуто De-Launay (47), который в ряде работ положил начало новым идеям распространения элементов, этим идеям подчинил свои взгляды на металлогенез земной коры и дал настолько стройное и полное изложение своих идей, несколько космогонического характера, что на много лет явился властителем дум и руководителем целой школы геологов и геохимиков. Оставаясь в рамках Канто-Лапласовской теории, De-Launay связал распространение элементов и распределение их на разных расстояниях от центра охлаждающейся туманности, обратных величине удельных весов, благодаря чему в наружных частях земной коры получились оболочки из более легких элементов, тогда как с глубиною намечалось преобладание более тяжелых.

Эта очень изящная и хорошо разработанная идея оставалась до 1916 г. единственною хорошею рабочею гипотезою, и на ее фоне была проделана огромная работа изучения рудных месторождений и выявления ряда геохимических законностей.

Между тем исподволь намечались и другие пути объяснения количественного состава земной коры в связи с вопросами чисто химического характера. Еще в 1884 г. была подмечена T. Carnelley некоторая связь между элементами в земной коре и их положением в четных или нечетных рядах Менделевской таблицы. К этим вопросам вернулся позднее Oddo (1914 г.), Weddels (1914 г.) и автор настоящей статьи А. Ферсман (1921 г.) (48). Все эти вопросы вновь приближа-

лись к старой идее о связи распространенности элементов не только с их положением в Менделеевской таблице, но и со строением самих атомов, типом их структур и их генетической связи. Те проблемы интеграции и дезинтеграции материи, которые в обобщениях Крукса и Локайера казались лишь интуитивными догадками, превратились в реальные картины совершенно определенной связи, и, если еще одни, подобно Schmidt'y (1917—1918 гг.), придерживались идеи интеграции материи в эволюционном порядке строительства, то в классических отныне, хотя и несколько смелых, работах Harkins'a (1916—1921 гг.), еще более фантастических данных Loring'a и в осторожных, но блестящих обобщениях Нериста (1921 г.) и Аррениуса (1922 г.) означенные проблемы получили совершенно новое и осмысленное течение (49).

Отныне эта идея широко разлилась в области геохимии, и новые идеи строения атомов у Зоммерфельда, Фаянса, Мейтнер, Резерфорда и Гаркинса наметили новый путь к разрешению таких проблем, которые раньше, казалось, лежали еще за пределами точного знания.

Таким образом, на основании сказанного, мы ниже остановимся на следующих двух основных путях исторической мысли:

1. Идеи космогонического распределения атомов элементов.
2. Идеи генетического распределения элементов.

В дальнейшем я намерен совершенно объективно изложить взгляды на эти вопросы у разных ученых, приводя и встречаемые ими затруднения и несогласия. Лично свою идею я изложу более детально в одной из следующих глав, причем определенно считаю нужным с самого начала высказать свою точку зрения.

Современное распределение элементов в пространстве мироздания вызывается сочетанием трех природных факторов:

1) явлений образования и преобразования элементов во времени;

2) явлений распределения уже готовых атомов элементов в пространстве под влиянием космических причин (тяготение, световое давление, излучение и др.);

3) явлений физико-химического и химического перераспределения групп атомов и молекул.

Наблюдаемое нами распределение не является стационарным: оно изменяется во времени под влиянием тех же трех основных групп мировых факторов.

Из сказанного явствует, что только закономерное сочетание трех причин — атомистической, космической и физико-химической может объяснить строение как нашей земли, так и всего мироздания.

Первая причина связана со строением ядра — это интраатомная причина; космическая — связана с физическими свойствами самого атома, а химическая — с его химическими электронами и с группировкою атомов в „молекулы“ и кристаллы.

Таким образом вся совокупность частей атома влияет на его распределение [1]).

Я отдельно изложу идеи распределения элементов в земной коре на основании данных астрофизических и физикохимических так, как они вырисовываются при современном обзоре различных теорий и идей по этому вопросу, а затем посвящу отдельную главу обзору связи между распределением химических элементов, характером их атомов и Менделеевской таблицей.

К первым прежде всего относятся идеи De-Launay, V. M. Goldschmidt'a и Prior'a, к краткому изложению которых я и перехожу.

§ 25. Идеи Де-Лонэ (47).

Идея связи распределения элементов с первичным их распределением во время формирования космического тела не могла не прийти в голову при самой первой концепции строения видимого мира. Поэтому неудивительно, что еще Демокрит говорил, что «при образовании земли тяжелые атомы (по его мнению и самые большие) должны были собраться в середине, а легкие снаружи, где они входят в общение» с наружным пустым пространством. Эта идея лежала в основе и концепции

[1]) Законности перераспределения элементов в космосе подробнее описаны мною во главе XI.

Канта-Лапласа, в которой концентрирование элементов в туманностях как раз подчинялось этому принципу, связанному с действием ньютоновских сил. Постепенно росла и кристаллизовалась эта идея во французской школе геологов и через De-la-Bêche и Elie-de-Beaumont она постепенно вылилась в цельную и стройную систему на пороге XX века у De-Launay.

Его основное положение гласило так: «в еще раскаленной земле до образования твердой коры химические элементы отделились от центра на расстояния, обратно пропорциональные атомному весу (позднее он вносит поправку — удельному весу), как если бы диссоциированные атомы, вне всяких соединений и при весьма высоких температурах, были подчинены исключительно действию мирового тяготения и центробежной силы.

Последовательно разбирая под этим углом зрения состав земной коры и идя от наружных оболочек к более глубоким зонам земной коры, он намечает отдельные глубинные зоны преобладания элементов соответственно следующим семи группам:

I. Первичная атмосфера: H.
II. Атмосфера: O, N, (A, Ne).
III. Кремневая кора: Si, Al, Na, K, (Li, Be), Mg, Ca, (Ba, Sr)
IV. Минерализаторы: Cl, S, P, (B, F), C.
V. Основные выделения глубин: Fe, Mn, Ni, Co, Cr, Ti, V.
VI. Жилы, связанные с типом V: Cu.
VII. Рудные жилы: Zn и Pb, Sb и Ag, Hg, Bi, W, Au, U и Ra.

Сравнивая эту последовательность с атомными весами, De-Launay находит несомненную параллелизацию в означенных рядах и повышение атомного веса с глубиною. Подробно отмечая все отклонения от означенного закона, он объясняет их вторичным, чисто геохимическим переносом.

Эта идея у него сочетается с общими космогоническими соображениями. По De-Launay атомы элементов образовались в готовом виде еще до их конденсации в планетарную туманность, в огненно-жидкую космическую фазу распределились

по своему удельному весу и, оставив раскаленную массу в центре с тяжелыми элементами, образовали наружную кору-окалину, образованную окислением газами шлаковых накоплений поверхности ядра. С этого момента началась геологическая история перегруппировки элементов и их дальнейшее перенакопление и рассеяние силами чисто химического характера.

Таковы основные черты этой теории, необычайно изящной и частично отвечающей наблюдаемым фактам.

Вышеприведенная группировка, с одной стороны, следует действительному увеличению элементов с глубиною, а с другой несомненно по своему порядку напоминает таблицу Клерка и Фохта распространенности элементов в земной коре. При этом III группа намечает собою вместе с IV группы гранитных, кислых пород, образующих зону Sal, сами минерализаторы IV группы нередко характеризуют собою ювенильные воды и вулканические эманации этих же пород; группа V явно характеризует Nife, тогда как более редкие тяжелые металлы, связанные с жильными месторождениями, относятся к группе VII.

Еще большее сходство между таблицей Де-Лонэ и данными Клерка и Фохта получается, если мы примем во внимание мои пересчеты (1912 г.) на число атомов: при этом более легкие элементы занимают более высокое положение в таблице, более тяжелые — более низкое, благодаря чему таблица еще более напоминает порядок атомных весов или, вернее, удельных весов.

Сам De-Launay отмечал слабые места своего сопоставления, причем, однако, подчеркивал, что эруптивные и гидротермальные процессы вынесли в поверхностные зоны земной коры часть глубинных элементов, чем нарушили правильность первичных соотношений. Поэтому в некоторых случаях элементы зон не вполне отвечают элементам соответственных групп De-Launay, и многие из них, как Ba или Fe, должны быть понижены при таком сопоставлении.

Такую не теоретическую, а отвечающую природным условиям таблицу рисует De-Launay в следующем виде, причем частично для стройности принужден сделать ряд совершенно неприемлемых и очень фантастических допущений:

Таблица элементов по Де-Лонэ.

Высшие слои атмосферы	H, He
Атмосфера	O, N
Металлоиды, «облегчающие выделения металлов»	F, Cl, B, J, S, Se, Te, C, B
+ кислород.	P, V
+ сера	Bi, Mo, As, Sb
Силикатная кора.	Si, Ti, Zr, Sn, Nb, Ta, U, W
	K, Na, Li, Cs, Pb, Ca, Ba, Sr, Mg,
	Be, редкие земли, Al, Cr, Fe, Mn
Металлы промежуточные . . .	Ni, Co
Сернистые металлы.	Cu, Zn, Cd, Pb, Ag, Hg
Первичные металлы (самородные).	Pl, Au

Нет никакого сомнения, что при всей своей заманчивости эта теория лишь частично освещает законности состава земной коры и вместе с тем носит частью очень гипотетический характер. В своей «Геохимии России» (1922 г.) я более детально разбираю как положительные, так и отрицательные стороны этой гипотезы и отмечаю:

«Приурочивание к поверхности элементов малых атомных весов (или вернее малых удельных весов) ограничивается лишь первыми 28 элементами Менделеевской таблицы. В пределах первых двух больших периодов таблицы Менделеева в грубых чертах схемы De-Launay мы действительно видим последовательность более легких элементов в зоне Sal (Na, Al, H, Li, Be), более тяжелых в зоне Sima (Al, Si, Mg, Ca, Ti) и, наконец, еще более тяжелых в зоне Nife (Cr, V, Ti, Fe, Co, Ni). Но на этом схема обрывается; дальше следуют элементы, в которых никакой зависимости в духе этого закона нет и даже наоборот — далее следуют элементы именно более поверхностных зон Sal и более поверхностных жильных эманаций с тяжелыми металлами. Целый ряд более тяжелых элементов, как то Zr, Mo, W, U, Th, TR, Ha, связанных в своей геологической истории с зоною Sal, абсолютно противоречит основному закону концентрирования элементов от центра к периферии в порядке

понижения их атомных или удельных весов. Этим наносится определенный удар распространительному толкованию той схемы распределения элементов, которая устанавливается фактами для первых двух больших рядов таблицы, резко отличных в своей геохимической истории от всех остальных».

Дальнейшее возражение против этой теории в ее широком толковании приводится изучением распространения радиоактивных элементов, содержание которых с глубиною несомненно падает и которые, таким образом, несмотря на свои высокие атомные веса, связаны с зоною Sal.

Таким образом на основании анализа этой гипотезы я прихожу к нижеследующим выводам:

1. В общем теория De-Launay правильно устанавливает связь между распределением элементов и их удельными весами, т. е. подчиняясь закону мирового тяготения.

2. Основные черты трех главных оболочек, Sal, Sima, Nife несомненно характеризуются элементами в порядке повышения удельных весов.

3. Однако, общие соображения De-Launay применимы лишь к первым четырем горизонтальным рядам Менделеевской таблицы, т. е. к первым 28 элементам.

4. Более широкое толкование идей De-Launay за пределами этой части Менделеевской таблицы не оправдывается фактами и наблюдениями.

§ 26. Идеи В. М. Гольдшмидта (50).

В дальнейшем идеи De-Launay стали видоизменяться, и разными авторами на их основе были даны новые построения.

Новая и вместе с тем весьма любопытная концепция о строении земного шара была выдвинута В. М. Гольдшмидтом, известным геологом из Христиании, который рассматривает землю, как единое физикохимическое тело, прежде всего в своей природе подчиненное закону всемирного тяготения. Отсюда неизбежно не только первичное распределение материи в земном шаре согласно законам удельного веса, но и позднейшее постоянное перемещение элементов из оболочки в оболочку, причем более тяжелые элементы постоянно стремятся книзу — в глубину, а более легкие кверху. В этом отношении его

взгляды напоминают идеи некоторых приверженцев планетезимальной теории (напр. Schwarz'а в Южной Африке), допускавших перенесение в глубины приносимого на поверхность метеоритами железа.

Признавая первичную землю за многофазовую систему, Гольдшмидт устанавливает следующие зоны в земной коре.

В глубинах до 2900 клм. (от поверхности) центральное ядро из никкелистого железа с удельным весом около 8. Далее следует зона сульфидов и окислов тяжелых металлов до глубины 1200 клм. (от поверхности) с удельным весом 5—6. Верхняя граница этой зоны определяется результатами отражения сейсмических волн. Эта область по составу должна несколько напоминать состав метеоритов, быть богатою сульфидами, преимущественно железа, с бо̀льшим содержанием кислородных соединений Fe, Cr, Ti (нечто вроде троилитовых масс в метеоритах). Еще выше идет третья зона, которую автор называет эклогитовой и которая является в сущности прототипом базальтовой постели Daly. Она тянется до 120 клм. от поверхности, обладает удельным весом в 3,6—4, находится под большим давлением, и с ней автор связывает, напр., происхождение алмаза в кимберлитовых воронках Южной Африки. Наконец, самая поверхностная пленка — силикатная, — с удельным весом в 2,8, тянется до глубины 120 клм.

Эти идеи автор сравнивает с металлургическим процессом при обработке сернистых руд, где получаются именно три основные фазы: шлак, металл и сульфид — «штейн». Сообразно с этим тяжелые металлы, как напр. платина, должны быть накоплены в глубоких частях земли.

Привожу схему В. М. Гольдшмидта:

Наружная кора	0—120 клм.	уд. вес 2,8	силикатная кора (= Sal, Sima).
Промежут. зона	120—1200 клм.	уд. вес 3,6—4	эклогитовая зона (отчасти Nife).
Глубинная зона	1200—2900 клм.	уд. вес 5—6	сульфидо окисная зона.
Центральное ядро	2900 до центра	уд. вес 8	металлическое ядро (Ni, Fe, Co, Cr).

Таким образом из анализа этой теории мы можем вывести:

1. Идеи Гольдшмидта близко примыкают к идеям Де-Лонэ, но выдвигают особенно существование особой глубинной сернистой зоны.

2. Деление на оболочки отвечает тем границам упругости, кои намечаются современной теорией распространения сейсмических волн.

3. Существование специальной сернистой зоны не оправдывается ни фактами изучения геохимии земли, ни анализом метеоритов, сходство с которыми и Гольдшмидт кладет в основу своей теории.

§ 27. Теория Прайора (51).

Весьма любопытная и вместе с тем очень доказательная теория была выдвинута Prior'ом в 1916 г. Он подробно изучил состав каменных метеоритов и, расширяя идеи N. Nordenskiöld'a и Wahl'я, обратил внимание на необычайное химическое сходство этих метеоритов, если только принять в них различную степень окисления. При этом он установил общее правило: чем меньше в хондрите никкелистого железа, тем богаче последнее никкелем и тем больше железа содержится в магнезиальных силикатах. Из этого он сделал весьма логичный вывод, что все каменные метеориты произошли из одного источника, из одной и той же магмы, путем различного ее окисления. При недостаточном количестве кислорода в каменном метеорите остается еще большое количество самородного металла железа, бедного никкелем, даже CaS, а силикаты при этом бедны железом. При более значительном окислении железо входит в состав силикатов, оставшаяся в самородном виде часть обогащается никкелем, не входящим в силикаты, появляется оливин, бронзит, а строение обогащается хондрами, т. е. сферическими радиальнолучистыми шариками, являющимися показателем быстрого процесса расстекловывания. Довольно справедливо мнение некоторых, сравнивающих образование хондр с вулканическими туфами.

Эти явления Prior переносит и на строение внутренних частей земли. Он представляет себе ее происхождение из единой магмы, близкой по составу к каменным метеоритам, и путем

последовательного окисления образующей те оболочки, которые мы в настоящее время видим на земле. Самою глубокою зоной он считает недоступные нам скопления, богатые никкелистым железом, далее оболочку более окисленную, в которой начинают преобладать оливин и бронзит. В этой оболочке мы должны встречать лишь очень богатое никкелем самородное железо, что и оправдывается на примере находок его в Новой Зеландии или Канаде среди оливиновых и змеевиковых пород. Наконец, еще выше, по его мнению, должна находиться оболочка еще более окисленная — базальтовая, которую американские петрологи, с Daly во главе, считают основою магматических пород земной коры.

§ 28. Общая сводка геохимических теорий.

Исходя из приведенных выше трех теорий и из идей, развитых мною выше в главе III, я считаю возможным придти к следующим важнейшим взглядам на распределение химических элементов в земле, поскольку оно вытекает из геологических и геофизических данных:

1. В распределении химических элементов на нашей планете несомненно проявляются силы по преимуществу мирового тяготения, накопившие более тяжелые элементы в глубинах и более легкие—на поверхности.

2. Это общее положение одинаково приемлемо как при принятии космогонических теорий Канта — Лапласа, так и планетезимальной теории Чемберлена Салисбюри, с тем отличием, что в первом случае распределение элементов первично и осуществляется при самой конденсации газообразной туманности, а во втором — оно возникает вторично, путем перегруппировки под влиянием силы тяжести в позднейшие стадии космической и геологической истории.

3. Центральные части земной коры и метеориты по своим основным чертам химического состава и по элементам должны быть тождественными или сходными.

4. Абсолютное количество атомов отдельных элементов на земле в настоящее время не одинаково и в ней преобладают элементы от 1 до 28, т. е. первых четырех рядов Менделеевской таблицы.

5. Для первых 28 элементов совершенно определенно намечаются формы и зоны их распределения на земле.

6. Элементы более тяжелые играют малую роль в геохимии и распадаются на две большие группы: металлические и петрогенетические. Из них первые могут быть связаны с бо̀льшими глубинами, вторые наоборот- -с поверхностными зонами кислых пород (52) См. об этом § 31 и 32.

7. Помимо сил мирового тяготения на распределение элементов в земле должны влиять и иные силы астрофизического, физико-химического и интраатомного порядка, о чем будет речь ниже (глава XI).

VII. Связь распределения химических элементов с периодическою системою и строением атома.

§ 29. Одновременно с геохимическим изучением распространения элементов на земле намечались попытки дать и объяснения этому явлению с точки зрения теории строения атома или эволюции элементов.

В этом направлении мы можем совершенно определенно наметить три основных течения. Первое намечало чисто формальную связь распределения с Менделеевской системой и зависимость тех или иных геохимических проблем от таблицы Менделеева. Второе течение, возникшее лишь в самые последние годы, намечало связь распределения элементов со строением атома (Harkins, Meitner и др.). Наконец третье — пыталось построить общую картину происхождения элементов, связывая их в генетическую цепь рядом чисто спекулятивных, иногда весьма интересных, идей (Crookes, Морозов, C. Schmidt и др.).

Последний путь, как не опирающийся непосредственно на факты, я пока оставляю без внимания и остановлюсь лишь на первых двух.

A. Распределение элементов и периодическая система.

§ 30. Связь с Менделеевской таблицей намечалась лишь постепенно, одновременно с расширением наших понятий о природе атомов и элементов.

Первым сам Clarke в 1890 г. уже подметил ряд законностей в количественном составе земной коры, причем, указывая на несомненную связь распространенности с атомными весами

и на редкость элементов более тяжелых, чем железо, указал, правда в весьма осторожной форме, на возможность зависимости этого явления от генетического ряда образования атомов, но не пытался тогда связывать свои подсчеты с Менделеевской системой (46). Только в 1902 г. Акроид в весьма любопытной заметке обратил внимание на некоторые законности в распределении элементов, особенно если их рассматривать по отдельным вертикальным группам Менделеевской таблицы, и расчислил все элементы на абсолютное число атомов (аналогично принятому мною в 1912 г. методу). Основываясь на идеях Крукса и Локайера, он, с одной стороны, связывает распространение элементов с их формированием из первичного протила, с другой, отмечает, что самые легкие атомы как раз отсутствуют или значительно уступают атомам с более высокими атомными весами, благодаря чему в каждой группе Менделеевской таблицы распространенность элемента не вполне отвечает повышению атомных весов. Объяснение недостатка более легких элементов он связывает с тем, что они должны преобладать на других, более легких космических телах (и планетах). Он думает, что формирование тяжелых атомов, преобладавшее раньше, позднее сменилось возникновением более легких элементов.

Подмеченная Акроидом связь с вертикальными группами была более определенно выявлена Waddels'ом, который в 1914 г. отметил, что в каждой вертикальной группе Менделеевской таблицы распространенность элемента сначала повышается с увеличением атомного веса, а затем быстро падает.

Еще гораздо раньше в 1884 г. Carnelley подметил ряд любопытных законностей между распространением элементов и их положением в Менделеевской таблице. В сущности он впервые подметил те соотношения, которые у меня и у Вашингтона (см. ниже) вылились в форму совершенного разделения элементов на несколько групп. Carnelley обратил внимание на особенности четных и нечетных малых периодов (см. таблицу элементов XXX по Ферсману 1921 г.) и установил, что элементы нечетных рядов по большей части легко восстанавливаются, встречаются в самородном виде или образуют устойчивые соединения с S или другими металлоидами тоже нечетного ряда. Наоборот, элементы четных периодов в само-

родном состоянии встречаются очень редко и обычно образуют устойчивые окислы (48).

Постепенно из этих работ вытекало стремление более глубоко связать таблицу Менделеева с проблемами геохимического характера. На помощь на этом пути пришли, с одной стороны, те работы (Oddo, Harkins'a, Meitner, Вернадского), которые пытались связать распространение с рядом своеобразных черт строения ядра, с другой — работы чисто геохимического характера, в которых намечались законности наблюдательного характера. К последним принадлежат прежде всего работы Вашингтона и мои, и на них я остановлю свое внимание, тогда как к вопросам интраатомистического характера перейду позднее, в следующих параграфах.

§ 31. Работы Вашингтона (53).

В 1920 г. Вашингтон дал новую классификацию элементов в связи с Менделеевской таблицей. По его мнению, все элементы делятся на две группы, из коих одна обнимает более легкие наиболее распространенные элементы, образующие горные породы, а вторая состоит из более редких тяжелых металлов, по преимуществу образующих рудные скопления. В то время как верхние ряды Менделеевской таблицы сплошь состоят из элементов первой группы—петрогенических, элементы второй группы—металлогенические—целиком составляют нижние ряды таблицы. По середине есть область, где эти элементы взаимно смешиваются, но все же настолько закономерно, что если их отделить друг от друга жирной линией, то мы получим картину, вполне симметричную, приводимую ниже на таблице XXIX. Вашингтон склонен видеть в этом делении весьма существенный природный процесс: петрогенические элементы встречаются обычно в первичных минералах, образующих окислы, силикаты, флюориды и хлориды, никогда или очень редко образуют сульфиды, селениды, теллуриды, арсениды, антимониды, бромиды или иодиды. За исключением железа и никкеля они никогда не встречаются в самородном виде. Металлогенические элементы, с другой стороны, обычно в качестве природных первичных тел образуют как раз те формы соединений, которые выше отмечены как несуществующие для

ТАБЛИЦА XXIX.

Таблица Менделеева с делением на элементы металлогенические и петрогенические.

(по Washington'у с небольшими исправлениями).

	O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	—	H	—	—	—	—	—	—	—
2	He	Li	Be	B	C	N	O	F	—
3	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	—
4	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe Co Ni
5		Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	—
6	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	?	Ru Rh Pd
7		Ag	Cd	Jn	Sn	Sb	Te	J	—
8	Xe	Cs	Ba	TR	Ha	Ta	W	?	Os Ir Pt
9		Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	?	—
10	Nt	?	Ra	Ac	Th	Pa	U	—	—

петрогенических элементов. Они очень часто встречаются в виде самородных тел; по мнению Вашингтона, и вполне справедливому, эти положения выдерживаются не вполне точно, но в общем намечают собою определенную природную законность.

Привожу ниже таблицу Вашингтона с некоторыми изменениями, согласно новым данным. В виду того, что в настоящее время, благодаря работам Coster'a и Hevesy, выяснилось, что все редкие земли должны быть помещены в одну клетку под Y, тогда как клетка перед вольфрамом должна быть занята новым элементом — гафнием, аналогом циркония, два ряда старых систем сокращаются и получается более стройная картина, изображенная на таблице. Сохраняя положение жирной линии по Вашингтону, мы оставляем Ta и W среди металлических элементов, тогда как по геохимической природе было бы правильнее их отнести к верхней группе, благодаря чему получается еще бо̀льшая симметрия. Предлагаемое изменение мною отмечено в таблице пунктиром.

Ниггли продолжает и углубляет теорию Вашингтона, причем пытается дать объяснение двойственной природе элементов; он отмечает, что элементы металлогенического ряда построены по более конденсированной системе, благодаря чему и должны накапливаться в бо̀льших глубинах.

Конечно идеи Вашингтона вполне правильны, но им можно дать и иную внешнюю форму, и иное толкование.

Совершенно независимо от Вашингтона мною была дана схема геохимической таблицы на фоне закона Менделеева, и эта схема, только в другом внешнем построении, намечает ту же законность. К моим работам, изложенным во Введении к «Геохимии России», я и перейду в дальнейшем.

§ 32. Работы А. Е. Ферсмана (54).

Мои идеи были изложены в «Геохимии России», причем я исходил в своих взглядах из представлений, весьма близких к идеям Вашингтона. Чтобы яснее выразить эти законности, необходимо более определенно связать их с Менделеевской таблицей. Для этой цели я помещаю ниже таблицу Менделеева приблизительно в том виде, как она была дана ее автором в одном из первых мемуаров о периодических свойствах

ТАБЛИЦА XXX.

Таблица Менделеева с геохимическими данными по Ферсману (1921 г.)

Ряды	I	II	III	IV	V	VI	VII	O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды
1	H	—	—	—	—	—	—	He	**Li**	**Be**	B	C	N	**O**	F	Ne	2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	**Mn**	Fe, Co, Ni	4
5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	**Rb**	**Sr**	**Y**	**Zr**	**Nb**	**Mo**	?	Ru, Rh, Pd	6
7	Ag	Cd	In	**Sn**	Sb	Te	J	Xe	Cs	**Ba**	**TR**	**Ha**	**Ta**	**W**	?	Os, Ir, Pt	8
9	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	?	**Nt**	?	**Ra**	**Ac**	**Th**	**Pa**	**U**	—	—	10

Примечание. Верхнее поле из 4 малых рядов — поле обычное. Левое нижнее поле — поле металлическое; правое нижнее — поле кислое (кислых пород). Элементы кислых пород набраны жирно. Элементы основных магм имеют наверху клетки одну черту, ультраосновных — две.

элементов, т. е. где соединены четные и нечетные ряды в длинные периоды.

В основу таблицы я беру последние известные мне данные о природе элементов и их взаимных отношениях. В моей таблице в горизонтальном ряде 1—2 расположены элементы порядковых номеров 1—10; в рядах 3—4 порядковые номера 11—28; в рядах 5—6 порядковые номера 29—46; в рядах 7—9 порядковые номера 47—78; причем на долю редких земель приходятся номера 57—71; наконец, на долю радиоактивных элементов приходятся номера 81—92, оканчивающиеся ураном. Неизвестными остаются четыре элемента с порядковыми номерами 43, 75, 85, 87.

Значительное число элементарных ячеек включает в себя серию изотопов.

В таком виде эта таблица дается мною на стр. 69, причем в ней элементы безразличного характера не отмечены ничем, элементы кислых магм набраны жирно, а в клетках элементов основных пород поставлена наверху черта, причем двойная линия включает элементы ультраосновных магм.

Анализ полученного в таблице распределения элементов весьма характерен и позволяет наметить ряд законностей, которые до сих пор не подмечались при изучении этих явлений и которые лишь вскользь, в неясной форме, подметил Carnelley в 1884 г. или частью, одновременно со мною, были высказаны совершенно независимо Harkins'ом (1917 г.) и Clarke (1920 г.).

Вся таблица разбита мною жирными линиями на три больших поля, которые я условно называю полями: обычным (верхнее), жильным (нижнее левое) и кислым (нижнее правое).

Каждое из этих наименований основывается на следующих соображениях:

Обычное поле, кончающееся никкелем, кобальтом и железом, характеризуется тремя типами элементов, начинаясь с элементов кислого типа совместно с биохимическими, после Na переходит к элементам по преимуществу зоны Sima, а начиная с Ti—к элементам переходных областей зоны Sima и Nife.

В это поле входят почти исключительно очень распространенные элементы, и, если исключить благородные газы и скандий, то только для Co среднее содержание будет ниже 3.10^{-3}. Наоборот среди элементов, не принадлежащих к этому полю, мы находим только Br, Sr и Ba, которые несколько сближаются количественно с содержанием кобальта; все остальные встречаются во много раз меньших количествах.

Этим положением вполне оправдывается наименование этого поля обычным.

Очень любопытным является то, что подавляющее большинство элементов типа средних и основных пород принадлежат как раз к обычному полю, и, таким образом, как общее правило может быть принято, что элементы зоны Sima с переходом к Nife (а не Sal) отвечают ближе всего картине распространенности элементов в земной коре.

Два нижних поля резко противоположны друг другу, состоя одинаково из элементов, принимающих малую роль в геохимических процессах земли; они отличаются тем, что левое состоит из металлов резко выраженного электроположительного характера, образующих устойчивые соединения с серою, а правое — из металлов кислотного характера, не образующих соединений с серою (или образующих, но редко) и устойчивых в форме кислородных соединений. Теплоты соединений являются максимальными для первых с серою, для вторых -с кислородом.

Только сравнительно немногие элементы в каждом из этих полей нарушают эти типичные свойства, что особенно характерно для VII и VIII групп. В общем, однако, исключений не много.

Левое поле отвечает тем химическим элементам, которые мы знаем в земной коре в виде сернистых соединений, обычно приуроченных к жильным процессам, дислокациям, выделениям сернистых фумарол и т. д. Связь этих элементов с определенным типом магм не может быть намечена; скорее они носят безразличный характер, хотя одни из них, напр., Au, As, Bi, Sn, Cu более обычны для кислых пород, другие, как Ag, Pb, Zn, — для пород средней кислотности. В общем, однако, не смотря на большую растворимость сернистых соединений в магмах основного типа, мы должны, согласно De-Launay, скорее связывать всю

эту группу химических элементов с кислыми или средними породами, чем с глубинно-основными.

Не менее замкнутую группу в самих себе составляют элементы правого кислого поля. За немногими исключениями перед нами типичные элементы кислых щелочно-земельных гранитных магм. Подчеркнутые элементы всей правой половины нашей таблицы дают нам типичную картину гранитных пегматитов, и потому это поле еще более характерно обнимает собою элементы одного и того же парагенетического ряда.

Таким образом при наблюдении Менделеевской таблицы мы устанавливаем известную закономерность распределения в ней четырех (или пяти, если выделить ультраосновную) групп элементов, т. е. тех типических геохимических ассоциаций, которые мы установили на основании суммирования отдельных наблюдений, и анализа минеральных ассоциаций в породах различной кислотности.

Если посмотреть глубже на природу моих трех полей, то не трудно будет видеть огромное сходство, а в некоторых частях и тождество с идеями Вашингтона и лишь форма их оказалась различной.

Почти вполне совпадает мое металлическое поле с группою металлогенических элементов Вашингтона; различие лишь в Ta и W, которые я отношу не к металлической группе, что у меня несомненно правильнее, чем у Вашингтона, так как у него два элемента, постоянно встречающиеся вместе, оказались разделенными (Ta и Nb, отчасти W и Mo). Вся группа петрогенических элементов совершенно отвечает моих полям: обыкновенному и кислому вместе; разница заключается лишь в том, что всю эту группу элементов я подразделяю на элементы, связанные с кислыми магмами и с основными; последние целиком легли в поле обычное.

§ 33. Исходя из этих данных, мы можем свести связь между распределением элементов и периодическою системою Менделеева к следующим основным пунктам:

1. Таблица Менделеева дает выражение ряду законностей в распределении элементов в земной коре и вероятно на всей земле и в метеоритах.

2. Преобладающая роль на земле и в метеоритах принадлежит только первым двум большим периодам таблицы, составляющим как бы поля наиболее распространенных, наиболее обычных элементарных тел.

3. В общем среднее распространение элементов в каждой вертикальной группе сначала быстро растет, потом, достигнув максимума в третьем или четвертом малом периоде, быстро спадает.

4. Элементы после 28 номера могут быть с геохимической точки зрения разбиты на два поля.

5. Поле из металлических элементов включает в себе почти все тяжелые металлы, носит определенно характер электроположительный и, занимая в Менделеевской таблице строго определенное место, вполне отвечает особой группе — «металлогенической» в идеях Вашингтона.

6. Поле тяжелых электроотрицательных элементов занимает в Менделеевской таблице вполне замкнутое место и характеристично для кислых пород.

7. Если поле кислое характерно для более поверхностных зон, особенно Sal, то положение поля металлического менее определенно в земных оболочках и лишь с некоторою вероятностью может быть отнесено к сульфидной оболочке Гольдшмидта.

8. Поле обычное самою последовательностью элементов от № 1 до № 28 как бы намечает собою постепенное увеличение элемента с глубиною, начиная с атмосферы и кончая группою средних и основных пород с металлическим ядром из Fe и Ni.

9. Последние элементы обычного поля определяют собою типичный валовой состав метеоритов.

10. Помимо вышеперечисленных законностей, связывающих геохимическое распределение элементов на земле и в метеоритах с Менделеевской таблицей, есть еще ряд других, основывающих ту же связь на сравнительном изучении строения атомов (чему посвящается следующая глава).

B. Распределение элементов и строение атома.

§ 34. Несомненно, что одни из самых интересных обобщений геохимии последнего времени связаны с попытками связать распре-

деление элементов с современными взглядами на строение материи. Это был в сущности тот же путь, который наметили Crookes и Lokayer в идеях эволюции вещества, но сейчас этот путь — на основе точного эксперимента и точных математических выкладок.

Крупный шаг вперед в более глубоком познании законностей распространения элементов представила работа профессора химии в Палермо Oddo, которая, хотя и не дала никакого объяснения подмеченным законностям, тем не менее еще до первых обобщений Harkins'a (1916—1921 гг.) установила ряд особенностей Клерковских чисел. Уже давно было известно, что атомные числа являются кратными четырех или вообще близки к ним, о чем мы имеем целый ряд чисто формальных соображений (55). Обычно в литературе отмечалось, что элементы по атомным весам преимущественно представляют 4q или 4q + 1 (или 4q + 3, что то же самое). Основываясь на этих давно отмеченных данных, Oddo указал на значительную распространенность среди Клерковских чисел земной коры атомов кратных четырех, причем отметил, что не подчиняющиеся этому довольно распространенные атомы Na, Ba, Mn, N и F составляют в сумме всего около 2,54%, и отклоняются от 4q на число, большее единицы. Если принять минимум отклонения от цифры 4 в 0,32, то сумма весов таких отклоняющихся в земной коре элементов составит лишь 13,54%, причем 86,5% приходится на элементы типа 4q. В заключение этих соображений Oddo говорит: «man kann diese Beziehungen für ein zufälliges Zusammentreffen halten—oder aber sollte man auch die nichtradioactive Elemente als selbständige Kondensationsprodukte von Heliumatomen betrachten dürfen?» (56).

Эти совершенно справедливые идеи, как мы увидим дальше, повлекли за собою целый ряд очень любопытных соображений американского химика Harkins'a (1915—1921 гг.).

Еще ближе стал подходить к нашей проблеме Curt Schmidt, автор небольшой книжки о периодической системе элементов, посвященной Менделееву (1917 г.), и автор весьма любопытной, хотя иногда и немного любительской статьи в Zeitschr. f. anorg. Chemie (1918 г.) (57).

Основная идея Шмидта заключается в формировании тяжелых элементов из первичного вещества, причем он прямо

отмечает, ссылаясь на работы Clarke, что для выяснения теории развития (интеграции) химических элементов весьма большое значение представляют цифры относительной распространенности химических элементов в природе, так как «только последние могут дать надежный критерий для суждения о продолжительности жизни элементов и открыть нам законы течения процесса интеграции».

Уже из этих слов мы видим, что, в противоположность другим идеям, Шмидт рассматривает природу, как нормальный процесс интеграции, формирования тяжелых элементов из более легких, причем, по его мнению, этот процесс только идет и состав наблюдаемый земной коры определяет еще молодую стадию формирования элементов; имеющийся в природе водород — это остаток, еще не успевший конденсироваться в более сложные системы; радиоактивные вещества — это старые, ранее образовавшиеся атомы, еще не успевшие разложиться. Как далеко будет итти этот процесс — спрашивает Шмидт не находя ответа.

В своем космическом мировоззрении он стоит довольно одиноко; для Clarke, судя по его осторожным фразам, мир находится в состоянии равновесия; для Нернста главная часть природных процессов связана с распадом, т. е. излучением, но и Нернст становится определенно на точку зрения мирового равновесия, стационарного состояния современного космоса.

Идеи Нернста, сведенные в 1921 г. в его прекрасной книге о мироздании, только частично касаются нашей темы. Для него одинаково возможны случайные столкновения атомов с зарождением тяжелых элементов, может быть выше, чем число урана (число М — 92); для него, однако, изучаемый мир есть мир излучения не энергии, а массы, мир постепенного распада материи с ее превращением в энергию излучения. В железных и каменных метеоритах он видит формы накопления более устойчивых атомов, причем в столь распространенном в мироздании железе он видит «элемент с исключительно большою продолжительностью жизни, как бы своего рода точку отдыха в истории радиоактивного распада элементов».

О работах Нернста, Аррениуса и др. в этом направлении см. дальше в главе XII.

Я не буду пока далее останавливаться на многочисленной литературе чисто физического характера, в которой, то тут то там проскальзывают идеи связи строения атома с вопросами геохимии и космохимии (58): таковы намеки Kossel'я с его подчеркиванием членов, построенных по типу 4q (т. е. с атомными весами кратными 4) и с очень ярким разделением четных и нечетных рядов Менделеевской таблицы; Lise Meitner с ее необычайно изящным объяснением, почему большею устойчивостью должны отличаться элементы с четным порядковым числом; работы последних лет Oddo над естественною группировкою элементов в Менделеевской таблице и ряд других.

§ 35. Все эти идеи, одновременно всплывавшие в разных местах у разрозненных войною научных деятелей, возникшие и у меня в моих самостоятельных работах конца 1921 г., получили наиболее яркое выражение в талантливых, но не всегда достаточно спокойных по изложению работах профессора физической химии в Чикаго Harkins'a, который, начиная с 1915 г. по 1921 г. в ряде работ дал блестящее освещение вопросу о связи строения ядра с вопросами геохимии и астрохимии: надо, однако, отдать справедливость, что многие из построений Harkins'a несколько искусственны и излишне усложняют зависимости, которые в своей основе верно были подмечены им.

Попытаюсь свести представления Harkins'a к нескольким главнейшим пунктам, причем должен отметить, что основной ход его рассуждения таков (59) (61):

«Относительное распространение видов элементов с низкими атомными весами может быть истолковано, как показатель (относительный) их относительной устойчивости» — так гласит его первое положение. Второе положение, вытекающее из всех его работ, может быть выражено так: «характер строения атома элемента предопределяет его устойчивость и тем самым связан с количественным распространением элемента в мироздании», характер же атома в общем определяется его атомным весом (P), его порядковым числом (M = число Мозелея) и, в третьих, особенным числом, которое является ни чем иным, как числом нейтральных элементов в ядре (N = P — M). К сожалению, и эти простые понятия Harkins нередко усложняет рядом перечислений и перегруппировок, ничего большего по существу не

дающих, причем для части своих рассуждений он берет настоящее изотопическое число n = P — 2M. Лучшим выражением количественного распространения элементов в мироздании вряд ли может служить, по мнению Harkins'a, наша земная кора, а только космические тела — метеориты. Поэтому он всецело обращает внимание на распространение элементов в метеоритах и, основываясь на работах Farrington'a, дает ряд подсчетов, очень близких к тем, которые мною выше приведены в таблицах XVIII, XXV—XXVIII. В своих работах он принимает для земли цифры Clarke, для метеоритов вычисляет их из данных Farrington'a, считая, что на 10 железных приходится 350 каменных. Все расчеты, аналогично моим работам, он ведет в атомных числах (объемных отношениях).

Привожу ниже три основные его таблицы (1921 г.):

ТАБЛИЦА XXXI.

Количество пяти наиболее распространенных в метеоритах элементов.

Элементы.	Колич.	M	P	N	N/P
O	53,16	8	16	8	0,5
Mg^{24}	9,86	12	24	12	0,5
Si^{28}	13,82	14	28	14	0,5
S	1,46	16	32	16	0,5
Fe^{56}	12,28	26	56	30	0,536
Сумма . .	90,58				

ТАБЛИЦА XXXII.

Классификация изотопов по четным и нечетным числам (в метеоритах)

					Количество (в атом. %).	
					в земн. коре	в метеор.
Класс I . . .	N	четное,	P	четное	86,9	93,2
Класс II . . .	N	четное,	P	нечетн.	11,2	2,0
Класс III . . .	N	нечетн.,	P	нечетн.	2,3	3,2
Класс IV . . .	N	нечетн.,	P	четное	0,0	0,0

ТАБЛИЦА XXXIII.

Содержание (по числу атомов) элементов в метеоритах с атомными весами, кратными 4.

Элементы.	4q	3q	4q не 3q	3q не 4q	4q + 3	4q + 2	4q + 1
Углерод	0.12	0.12	—	-	—	—	—
Кислород	53.16	—	53.16	—	—	—	—
Натрий	0.62	—	0.62	—	0.62	—	—
Магний	9.86	9.86	—	—	—	1.65	1.65
Алюминий	—	1.21	—	1.21	1.21	—	—
Кремний[28]	13.82	—	13.82	—	—	—	1.38
Фосфор	-	—	—	—	0.06	—	—
Сера	1.46	—	1.46	—	—	—	—
Калий	—	0.11	-	0.11	0.11	—	·
Кальций	0.97	—	0.97	—	—	—	—
Титан	0.005	0.005	—	—	—	—	—
Хром	0.13	—	0.13	—	—	—	—
Марганец	—	—	—	—	0.06	—	—
Железо[56]	12.30	—	12.30	—	—	—	—
Кобальт	—	—	—	—	0.04	—	—
			82.46	1.32	2.10	1.65	3.03

Примечание к таблице. Под q подразумеваются любые числа; для сравнения Harkins поместил в эту-же таблицу и подсчеты для элементов, кратных 3, и действительно в очень резкой форме выявил значение числа 4. Эту таблицу интересно сравнить с моей таблицей XVIII; в общем они сходны, отличие заключается лишь в том, что Harkins, на основании работ Dempster'a и своих, принимает во внимание и менее важные изотопы.

Эти таблицы Harkins сопровождает целым рядом мелких весьма любопытных замечаний. Прежде всего он совершенно определенно высказывается за то, что никкель (№ 28) кончает собою ряд распространенных элементов метеоритов; каждый четный элемент содержится больше, чем пара соседних нечетных, и в качестве примера приводит расчет James u. Balke для редких земель. Редкость неона, по его мнению, объясняется его легкостью и уносом из земной атмосферы.

В заключение фактической части он делает следующие шесть выводов:

1. Атомы, в которых N (т. е. P — M, число отрицательных электронов в ядре) четное, распространеннее чем те, в которых N нечетное, для метеоритов в 33 раза, для земной коры в 40 раз.

2. Атомы, в которых P (P = атомный вес) четное, по отношению к нечетным распространеннее, в метеоритах в 18 раз, в земной коре в $6^1/_2$ раз.

3. Атомы, в которых M (Мозелеевское число = порядковый номер) четное, распространеннее в метеоритах в 50 раз и в земной коре в 8 раз.

4. Атомы с нечетным N и четным P содержатся в метеоритах — 0,0, в литосфере — 0,0 и во всей земной коре — 0,05.

5. В большинстве сильно распространенных атомов $\frac{M}{P} = 0,5$; а именно 80% в метеоритах и 85% в земной коре.

6. Атомный вес 13 атомов из 14 в метеоритах и 85% в земной коре делится на 4.

Эти фактические данныя Harkins сопровождает рядом теоретических рассуждений, стремясь доказать, что наиболее распространенными являются те атомы, кои наиболее устойчивы с точки зрения строения ядра элемента.

В основу устойчивых элементов он ставит гелиогруппы, т. е. группы из 4, чем и объясняется значение этого числа и в Менделеевской таблице и в вопросах распространенности отдельных элементов. В противоположность этим атомам другие нечетные содержат мало устойчивые электроны и, потому, сами неустойчивы или недолговечны. В этом отношении он совершенно согласен и с Фаянсом и с Мейтнер, отмечающими в частности для радиоактивного ряда недолговечность атомов нечетных, излучающих β-лучи.

Во всяком случае основная идея определенна и ясна:

В природе наиболее распространены элементы устойчивые и долговечные [1]) (60).

---

[1]) В своих рассуждениях Harkins не подмечает различия между элементами поверхности и глубин в земной коре. Некоторое объяснение теоретических взглядов на строение ядра у него и у Meitner см. в примечании (61).

§ 36. Идеи Вернадского (62).

Как мы видели выше, резкое преобладание в земной коре атомов химических элементов с четными атомными числами объясняется сейчас их меньшею долговечностью. В. Вернадский приводит другое объяснение, не связанное с большею продолжительностью существования атомов с четными положительными зарядами ядра. Указания на такую возможность дает рассеяние элементов. На эту форму их нахождения не обращают достаточного внимания, хотя роль его в земной коре огромна. Под рассеянием элемента следует подразумевать те формы их нахождения, которые открываются спектроскопическим, радиохимическим, электрическим путем или явлениями люминисценции. Для объяснения такого нахождения элемента приходится допускать существование его в форме атомов, иногда обладающих зарядами; эти атомы не объединены в молекулы, по крайней мере в значительных количествах, и не связаны с атомами других элементов.

Проявление такой способности атомов должно быть очень резко выражено во всех тех явлениях космической, и, в частности, планетной химии, где в долгие промежутки времени накапливаются медленные и ничтожные — взятые единично — процессы. Им может быть обусловливается и наблюдаемый состав земной коры и метеоритов с преобладанием элементов с четными атомными числами.

Группа химических элементов, для которой характерны явления рассеяния, вся на-цело — 100% — составлена из элементов с нечетными атомными числами. Можно убедиться, что вообще свойство рассеивания характерно для элементов с нечетными атомными числами.

Нам известны сейчас 41 элемент с нечетными атомными числами. Из них отмечены явления рассеяния для Ac, Ag, As, Au, B, Bi, Br, Cl, Cs, Eu, F, Ga, H, Ho, Jn, J, K, La, Li, Lu, Mn, N, Na, Pa, Pr, Rb, Sc, Tb, Tl, Tu, V и Y, т. е. 32 элемента или 78,05% всех таких элементов.

Элементов с четными атомными числами нам известно 46; из них рассеяние констатировано для Ar, C, Ce, Ct, Dy, Er, Gd,

He, Kr, Nd, Ne, Nt, Pb, Po, Ra, Sa, Th, U, Xe, Zn, Yb, т. е. для 21 элемента или 45,65% всех таких элементов.

Но рассеяние элементов вызывается разными источниками. Если мы выделим из этих списков элементы, для которых рассеивание вызывается или свойствами инертных газов, или радиоактивным распадом, или неизвестною нам причиною (для элементов редких земель), то окажется, что рассеяние наблюдается для 22 из 31 элемента с нечетными атомными числами (70,90%) и для 2 из 27 элементов с четными атомными числами (7,4%).

Едва ли эта разница может объясняться неполнотою нашего знания.

Оставляя пока в стороне возможную причину этого явления, отметим, что она в течение достаточного времени будет проявляться в составе природных средин — земной коры или метеоритов — так, что большая часть атомов с нечетным атомным числом (т. е. нечетным положительным зарядом ядра) уйдет в окружающее пространство.

Мы получим наблюдаемый состав природных тел даже при относительно одинаковой продолжительности существования атомов с четными и нечетными зарядами ядра.

§ 37. Еще один вопрос огромной важности стоит перед геохимиком, когда он изучает распространение химических элементов и их отдельных изотопов. Как отмечено было выше в § 5, многочисленные изотопы элементов нерадиоактивных встречаются в земле и в метеоритах вместе, в строго определенных пропорциях. В противоположность им, радиоактивные изотопы встречаются порознь, и, напр., свинцы урановый и ториевый встречаются в разных минералах, равно как обычный свинец, представляющий как бы строго определенную смесь этих двух свинцов.

Мы не можем пока объяснить этого постоянства смесей и постоянства атомных весов их генетическою связью, так как как раз генетические ряды, известные нам, а именно радиоактивные, показывают, что каждый изотоп этого типа встречается самостоятельно и часто ничем не связан с другими. Явление постоянства совместного нахождения изотопов нам очень напоминает постоянство состава благородных газов в источниках и газовых

струях, где, согласно работам Moureu и Lepape, между аргоном, криптоном и ксеноном (но не гелием) наблюдается значительное постоянство соотношений. Названные авторы склонны в этом видеть результат еще первичного распределения материи, не нарушенного позднейшими процессами, благодаря инертности этих газов.

В случае распространения изотопов мы можем только отметить, что в них несомненно видны некоторые черты или внутреннего сходства строения атома или общего генезиса. Так вообще изотопы одного и того же элемента обычно отличаются друг от друга на 2, гораздо реже на 1, благодаря чему они оказываются четными или нечетными. Впрочем, есть исключения из этого правила.

Постоянство состава сложных элементов, конечно, показывает, что после момента образования атомов все те физикохимические процессы, которым эти атомы были подвержены, не могли их разъединить, и что, следовательно, ни в метеоритах, ни в нашей земной коре после момента их образования не было таких условий, которые бы отвечали различным судьбам атомов разного атомного или удельного веса. Значит обратно — те условия, которые вызывали образование того или иного изотопа, находятся вне той обстановки, которую переживают и метеориты, и земная кора в современных этапах своей истории.

Было бы неосторожным делать какие-либо дальнейшие выводы в этом направлении; лучше ограничиться указанным фактическим материалом.

§ 38. На основании вышеприведенных данных мы приходим к ряду весьма важных выводов:

1. В земной коре, центральных частях земли и в метеоритах преобладают элементы четные и делящиеся на 4.

2. Это свойство связано с особою устойчивостью ядра, построенного из гелиогрупп, и, потому, является показателем того, что на земле и в метеоритах преобладают элементы наиболее устойчивые или наиболее долговечные.

3. Явления радиоактивности в деталях строения подтверждают связь между долговечностью, устойчивостью и четными числами атомных весов.

4. На земле заметно некоторое увеличение менее устойчивых атомов в поверхностных частях земной коры в противоположность глубинам, где совершенно сходно с метеоритами преобладают элементы, уже достигшие максимума равновесия и устойчивости.

5. Существование в поверхностных частях земной коры менее устойчивых элементов подтверждается еще преимущественным преобладанием в тех же частях радиоактивных, распадающихся элементов.

6. Постоянство смесей изотопов в сложных элементах говорит за то, что в настоящее время ни условия метеоритов, ни условия земной коры не отвечают тем, при которых возможно созидание и разъединение отдельных изотопов.

VIII. Химия космоса. Наша солнечная система: луна, планеты, кометы.

§ 39. Попытаемся теперь выйти за пределы нашей планеты и подвести итоги нашим знаниям химии космоса. Здесь мы встречаемся с необычайною трудностью решения химических проблем, и исключительная осторожность должна быть нами проявлена, чтобы намечаемые нами выводы отвечали наблюдаемым фактам. Изящные и блестящие по точности методы астрофизики только сейчас получают особое значение, когда спектральные линии космических тел начали точно сравниваться с результатами эксперимента. Блестящие завоевания индийского ученого Саги нам показывают, насколько осторожными должны быть наши выводы при трактовке наблюдаемых нами явлений.

Под этим углом зрения необходимо рассмотрение этой и двух следующих глав.

Луна (63).

Прежде всего мы должны сказать несколько слов о химии луны. Луна представляет собою космическое тело с удельным весом в 3,4 (несколько большим, чем средний удельный вес нашей земной коры) и с радиусом приблизительно в 4 раза меньшим, чем у земли. Эти черты луны обусловливают на луне Ньютоновские силы в 6 раз меньшие, чем на земле. Луна лишена атмосферы и, очевидно, должна была быстро потерять свое внутреннее тепло. Отсутствие атмосферы, согласно интересным построениям Stoney, объясняется малым тяготением, не преодолевающим максимальные скорости газовых молекул согласно кинетической теории газов; впрочем, этим путем объясняется отсутствие лишь самых легких газов.

Совокупность физических данных говорит за сходство луны с породами земли: никаких прямых методов определения химических элементов на луне не существует; но ряд косвенных данных позволяет путем аналогии сделать несколько выводов. По отношению сил падающего и отраженного луча можно сравнивать породы луны с кварцевым порфиром. Угол поляризации лучей, по данным Ландерера, отвечает нашим витрофирам, т. е. кислым стекловатым породам, богатым щелочами, Al и Si.

Таким образом, хотя мы и не имеем никаких прямых данных о химическом составе луны, но совокупность ряда признаков говорит за сходство ее состава с составом земной литосферы, с преобладанием элементов O, K, Na, Al, Si, может быть отчасти Ca и Mg.

Имеются весьма остроумные предположения о нахождении на луне серы — S.

§ 40. Планеты (64).

Несколько больше сведений мы имеем для планет, хотя и в этом случае астрофизические данные очень отрывочны и частью дают указания лишь косвенного характера.

Для того, чтобы судить об их химии, привожу следующую сравнительную табличку:

ТАБЛИЦА XXXIV.

	Меркурий	Венера	Земля	(Луна)	Марс
Удельн. вес. . . .	6.2	4.4	2.7 — 9.1 ср. 5.5	3.4	3.93
Радиус в клм. . .	2250	6120	6376	1741	3400
Сила тяжести . .	0.43	0.80	1	0.17	0.39
Атмосфера . . .	почти нет	атм.	атм.	нет	атм.
Температура . .	сильное нагрев.	сильное нагрев.	средн. нагрев.	изменч. нагрев.	—

	Астероиды	Юпитер[1]	Сатурн	Уран	Нептун
Удельн. вес. . . .	?	1.5	0.7	1.2 (1.54)	1.1 (1.55)
Радиус в клм. . .	от 5 до 400	70000	60000	24500	25000
Сила тяжести . .	максим. 0.045	2.65	1.18	0.91 (0.83)	0.88 (1.01)
Атмосфера . .	частью тверд., ч. газы.	атм. жидкая масса собств. свеч.	тверд. кольца	газообразн.	газообразн.

имеется, но все же ничто не говорит против этой основной идеи. Большая группа геологов (Daubrèe, Tschermak E. Suess) связывают с астероидами и наши метеориты и переносят химический состав последних на малые планеты.

§ 41. Кометы (65).

Химический состав и природа комет только в последнее время начинает выясняться, причем сейчас уже более определенно вырисовывается принадлежность комет к нашей солнечной системе и их несомненная связь с потоками падающих звезд и метеоритами.

Эта связь их с телами, которые попадают на землю в виде материальных объектов, для нас особенно важна и сейчас, в согласии с современными идеями о физической природе комет, делается особенно важною.

Кометы, подобно планетам, являются телами нашей солнечной системы, двигающимися по большей части по сильно вытянутым эллипсам, причем не исключена первичная связь последних с астероидами (см. стр. 86), обладающими тоже орбитами, уклоняющимися от плоскости эклиптики. Эта возможная связь с астероидами для нас с космохимической точки зрения необычайно важна.

Кометы состоят, очевидно, из космической пыли — твердых частиц, отчасти окруженных газовым слоем. При очень небольшой массе они обладают огромным объемом, что говорит о большой разреженности среды — бо́льшей, чем в Гейслеровских трубках. В главной своей массе свечение (люминисценция) кометы, очевидно, вызывается электрическими разрядами в сильно разреженной среде, т. е. в явлениях аналогичных свечению Гейслеровских трубок; но имеется также свечение, вызванное нагреванием солнцем, при приближении кометы к солнцу; благодаря этому начинается выделение газов и их свечение в стороне, обращенной к солнцу. Выделенные газообразные частицы и притянутая космическая пыль отбрасываются назад световым давлением солнца, образуя хвосты. Несомненно, что часть вещества, а именно наиболее легкие газы и мелкие пылинки навсегда оставляют комету и лишают ее части материи.

Астрофизическая картина комет весьма разнообразна и, повидимому, мы имеем кометы весьма различного состава с большим или меньшим преобладанием твердых частиц. В спектрах газов мы находим большое количество соединений C, причем, повидимому, главным образом доминируют кислородные соединения углерода, а не углеводороды, как это думали раньше. В голове комет известен углерод и его соединения с H, N, и O (т. е. CN, CO и CO_2).

По характеру хвоста в нем можно различать преобладание окиси углерода (CO), отчасти CN, CO_2, N и металлических паров Na и Mg. Линии Na по преимуществу связаны с начальными частями хвоста около ядра. Нахождение свободного H и Fe предположительно.

Как ни скудны наши сведения по астрофизике комет, но все же они намечают некоторые характерные черты, сближающие их с другими космическими телами.

§ 42. На основании сказанного, можно прийти к следующим наиболее вероятным положениям, касающимся космохимии комет:

1. Кометы являются космическими телами нашей солнечной системы и генетически, вероятно, могут быть поставлены в связь с астероидами.

2. Кометы в главной своей части состоят из твердой космической пыли и в меньшей степени из газообразных частиц и обладают низкою температурою.

3. Приближение кометы к солнцу вызывает выделение из нее летучих элементов, сильное нагревание частей их, близких к солнцу, и отталкивание как газообразных молекул, так особенно космической пыли в виде хвоста.

4. Процесс сближения с солнцем вызывает постепенную потерю кометою летучих и легкоплавких элементов и вообще газов, обладающих большою кинетическою скоростью частиц: в первую очередь H_2 и He, потом N_2, CO, CO_2, CN и, наконец, газов летучих металлов Na, Ca, Mg.

5. В конечном результате комета должна (при принятии постоянства природы атомов) превратиться в космическое тело, весьма близкое по своему составу к метеоритам.

6. Согласно п. 5 и на основании наблюдений над кометами и над звездными дождями весьма вероятна генетическая связь падающих на землю метеоритов с кометами.

7. Совокупность данных заставляет думать, что кометы по своему химическому составу не отличаются от других космических тел, весьма богаты H, N, C, O, Na, Mg, Ca и может быть Fe и, потому, в своем составе колеблются между составом земной коры и каменными метеоритами.

8. Неполное соответствие спектров комет с главнейшими элементами (по валовому среднему) метеоритов и земли объясняется физическою природою процессов на кометах, вполне объясняющей главнейшие их отличия.

IX. Химия солнца.

§ 43. Химия солнца вырисовывается на фоне многочисленных и весьма детальных астрофизических исследований и, потому, мы о солнце имеем весьма полные и интересные сведения. Яркость и количество линий отдельных элементов служили вместе с тем показанием распространенности отдельных элементов, и только последние работы индийского ученого Саги внесли серьезный корректив в эти данныя. Особый интерес представляет связь элементов с определенными глубинными зонами солнца, что позволяет проводить некоторую аналогию с геохимическими зонами земли.

В виду сложности проблем, связанных с изучением химии солнца, я предполагаю коснуться этого вопроса в следующей последовательности: в настоящем параграфе я намерен дать картину распространения отдельных элементов на солнце, независимо от глубинных зон и от явлений ионизации, т. е. картину, вытекающую из более старых астрофизических данных; в следующем — вкратце намечу распределение этих элементов по отдельным зонам с тем, чтобы потом подвергнуть эти данныя пересмотру в свете современных идей ионизации атомов; наконец, в заключительной части я остановлюсь на общих выводах. Вопросу о тепловом режиме солнца я посвящаю отдельный параграф (§ 63) в главе XII (66).

Спектр солнечных оболочек изучен с огромною детальностью, особенно благодаря работам знаменитой Калифорнийской Обсерватории на Mount Wilson, выдающимися работниками которой дополняется и исправляется классический список линий солнца в каталоге Роуланда (36 элементов).

Комбинируя оба фактора, поставленные в основу признания распространенности элемента на солнце, — резкость линий и число их совпадений, мы могли по старым представлениям прийти в первом приближении к следующей таблице элементов нашего светила:

ТАБЛИЦА XXXV.

Элементы солнца (в скобках поставлены порядковые номера).

I. Элементы с резкими линиями и с большим совпадением линий:

He, Ca, Fe, H, Na, Ni, Mg, Co, Si, Al, Ti, Cr, Mn, Sr, V, Ba, C, Sc Y, Zr, Mo, La, Nb, Pd, Nd (сюда-же необходимо относить и газ коронии — может быть ядро с одним отрицательным зарядом).

II. Элементы со слабыми линиями:

Cu, Zn, Cd, Ce, Be, Ge, Ag, Sn, Pb, Er, K, Ru (1920 г.), Rh, Ga, Eu, Rb (1922 г., только в пятнах), Li (только в пятнах), O.

III. Элементы сомнительные:

Ir (77), Os (76), Pt (78), Ta (73), Th (90), U (92), W (74).

IV. Элементы, вероятно отсутствующие:

As (33), Bi (83), Cs (55), Au (79), Se (34), B (5), N (7), In (49), Hg (80), P (15), S (16), Tl (81) и Prd (59). Grammont еще прибавляет Se (34), Te (52).

V. Элементы под вопросом:

Cl, J, Br, F, Ra и редкие газы, кроме He.

К этой таблице необходимо сделать ряд следующих примечаний: ненахождение линий ряда металлоидов, повидимому, вызывается не отсутствием этих элементов, а характером их спектра, получаемого в условиях солнечных зон. Кислород, долго не находимый на солнце, был открыт лишь недавно на Аллегенской Обсерватории (1920 г.) и позднее подтвержден Russel'ем (1922 г.). Grammont и Veronet определенно подчеркивали, что физическое состояние металлоидов и некоторых тяжелых металлов на солнце таково, что обусловливает отсутствие их видимого спектра. Еще более осторожно к этим данным подходит Сага, который, как мы ниже увидим, определенно высказывается за мысль, что отсутствие линий какого-либо элемента на солнце еще не определяет отсутствия самого элемента.

§ 44. Если мы попытаемся связать элементы солнца с определенными его зонами, то мы получим очень интересную картину, тоже, однако, получающую правильное толкование лишь в свете вышеприведенных новых идей Grammont и Saha, тем более,

что мы сейчас знаем, что температура поверхностных оболочек солнца (фотосферы) около 5000—6000°, а температура пятен почти на две тысячи градусов ниже (68). С этими температурами только и приходится считаться при анализе той физико-химической среды, которая нам дает спектры, ибо остальные, более глубокие зоны, вероятно, с весьма высокими температурами до 10^6 T abs., нам остаются неизвестными [1]). Вообще оболочки с глубиною обладают большею температурою.

В наиболее поверхностной наружной, более холодной, зоне — короне мы встречаемся с весьма разреженною средою, которая характеризуется линиями отчасти H, но главным образом неизвестным газом — коронием на фоне сплошного спектра мельчайших твердых частиц — пылинок метеорного типа, очевидно сплошным роем, по мнению Аррениуса, окружающих солнце и отражающих его лучи.

Далее следует хромосфера — толстый слой весьма разреженной материи, преимущественно из H; выступы короны в виде протуберанцев до 600.000 клм. длины состоят из H и сильно ионизированных атомов Ca (в основании их He, отчасти Mg). В более глубоких частях хромосферы мы видим появление линий Fe, Ti, Ni, Mn, немного Cr, отчасти V. Еще глубже следует весьма тонкий слой (обращающий) с парами металлов и, наконец, в глубине светящаяся, как твердое тело или уплотненный газ, фотосфера с яркими факелами (линиями Ca, Sc) и темными пятнами; в последних Fe, Ti, Mg, Ca, V и как будто-бы спектры их соединений с кислородом и водородом (TiO_2, $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$) [2]).

Если строение солнца, этой карликовой звезды, сравнить с другими типами звезд, то, согласно указаниям А. Белопольского,

---

[1]) Одновременно с этими температурными условиями необходимо отметить и характер электромагнитных полей: поле самого солнца лишь в 80 раз больше земного; зато для пятен оно превышает земное в 9000 раз.

[2]) В спектре пятен наблюдаются элементы, сильная ионизация которых не позволяет их видеть в газовых оболочках (а именно Rb). Кроме того в спектре пятен обнаружен и Ba, отсутствующий в других частях солнечного спектра.

отдельные части солнечных оболочек отвечают разным стадиям эволюции звезд: спектр наружной части хромосферы можно сблизить со спектром звезд типа B (см. ниже в § 50), а спектр фотосферы с типом G — K и, наконец, пятна со спектром K — M. Такие соотношения весьма любопытны, так как они в известном отношении дают нам в этой последовательности в наружной части солнца отдельные стадии космического процесса, и таким образом пятна обнаруживают более поздние стадии в противоположность наружным газовым оболочкам [1]).

До тех пор пока Сага не дал свою теорию ионизации, казалось совершенно непонятным, что высота наблюдаемых линий не находилась в зависимости от атомного веса, так как линии Ca, Fe или Ti оказывались в более отдаленных от центра частях, чем, напр., линии столь легкого газа, как H. Сейчас весь этот вопрос получил совершенно иное объяснение.

§ 45. Megh Nad Saha (69) первый обратил внимание на то, что природа линий в спектрах солнца может быть выяснена лишь при сравнении их с теми спектрами, которые получаются при перегревании паров и газов в тех температурах, которые по возможности близки к температурам солнечных зон (3000 — 6000 abs). Учитывая влияние высоких температур, Saha отметил, что при нагревании атомы ионизируются, т. е. теряют свои внешние электроны, и их спектр, перемещаясь в ультрафиолетовую часть, может совершенно выйти за пределы возможных наблюдений. Таким образом, совершенно ионизированный газ не даст при современных методах исследования никаких линий спектра и будет принят, как отсутствующий. Поэтому, чем труднее элемент ионизируется, тем больше, при прочих равных условиях, остается он заметным для глаз наблюдателя.

[1] Это расположение в более центральных частях космических тел таких группировок, которые в общей схеме эволюции, как мы это увидим ниже, являются более поздними, уже сильно подвинувшимися стадиями, является, повидимому, общим, и мною было отмечено при анализе химии земли (см. § 20 и 21).

ТАБЛИЦА XXXVI.

Таблица ионизации атомов на солнце (Saha).

	Ионизация в вольтах.	Яркость линий: солнца	Яркость линий: пятен
Na	5,11	30	60
K	4,32	6	15
Rb	4,16		1
Cs	3,81	—	?
Mg	7,65	30	30
Ca	6,08	20	25
Sr	5,67	1	3
Ba	5,12	—	

Мы видим из этих данных, что необыкновенная распространенность Mg и Ca в некоторых частях солнца и в протуберанцах, более высокое выбрасывание кальция по сравнению с водородом могут быть объяснены не действительным преобладанием этих более тяжелых элементов, а лишь сохранением ими своих атомов неионизированными.

Таким образом приходится критически подойти к анализу линий спектра солнца, и с этой точки зрения можно сказать, что отсутствие каких-либо линий элементов на солнце не может быть принято за доказательство отсутствия самих элементов, и по двум причинам: во-первых, потому что часть металлоидов при физических условиях солнечных оболочек не может дать светящего спектра в присутствии паров металлов, а во-вторых, так как и для металлов, обладающих весьма большою способностью к ионизации, характерные видимые спектры будут отсутствовать. В общем ионизация увеличивается с повышением температуры и атомного веса элемента и с понижением давления.

Эти важные наблюдения заставляют нас отнестись с большою осторожностью к анализу присутствия или отсутствия каких-либо элементов на солнце и вместе с тем показывают, что и

ТАБЛИЦА XXXVII

Элементы солнца.

Ряды	I	II	III	IV	V	VI	VII	O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды
1	**H**	—	—			—		**He**	Li	Be		C		O			2
3	Na	**Mg**	Al	Si					K	Ca	Sc	**Ti**	**V**	**Cr**	**Mn**	**Fe, Co, Ni**	4
5	Cu	Zn	Ga	Ge					Rb	Sr	**Y**	**Zr**	**Nb**	**Mo**	?	Ru, Rh, **Pd**	6
7	Ag	Cd		Sn						**Ba**	**TR**		Ta	W	?	Os, Ir, Pt	8
9				Pb			?		?			Th		U	—		10

яркость линий и количество совпадений еще не могут быть приняты за доказательство преимущественного распространения данного элемента, если не будут учтены вышеизложенные поправки на ионизацию и на взаимное ослабление линий при совместном нахождении металлоидов с металлами.

К вопросам ионизации элементов я еще вернусь при анализе химических элементов звезд (§ 51). Попытку такого анализа делает Russel, устанавливая сходство состава земли и солнца и подчеркивая малое содержание в последнем Li и Sr.

§ 46. Попытаемся сейчас несколько проанализировать вышесообщенные данные. Для этого в нижеприведенной таблице Менделеева расположены элементы таблицы XXXV, причем элементы первой группы, т. е. наиболее важные, отмечены жирно; элементы со слабыми линиями — корпусом; элементы сомнительные — петитом (70).

Среди указанных в таблице элементов De-Launay пытается найти и некоторые количественные соотношения и рисует для газовой оболочки глубоких слоев хромосферы следующую схему количественного распространения элементов, которая, как ни мало обоснована и гипотетична, все же интересна:

	Fe	Mg	Ni	Ca	Al	Na	H	He	Mn, Cr. Ti, Sn и др.
%	65	8	6	3,5	1	0,5	0,5	0,5	около 15
									всего 100%

Вышеприведенная таблица XXXVII весьма важна, особенно если ее сравнить с таблицею распространения элементов в земной коре; в общем валовой состав земной и солнечной оболочек весьма сходны; бросается в глаза преобладание обычных элементов пород, начиная с гранитов и кончая перидотитами, причем на лицо и характерные спутники и тех, и других: для гранитов — Zr, Nb, TR, Mo, Ta, для ультраосновных пород — V, Cr, Co, Ni и обе платиновые группы. Элементы левого металлического поля отходят на второй план. Заметно преобладание четных вертикальных групп системы; так, на четные приходится 30 элементов (включая He), на нечетные — 16. Очень сильно представлены группы, кратные 4 — IV и VIII; из относящихся к ним 22 элементов на солнце известно 17. Несомненно доминируют элементы

более легкие: из 28 первых элементов не хватает только 8, но в том числе есть ряд металлоидов, отсутствие которых — вопрос, окончательно еще не разрешенный.

§ 47. На основании сказанного мы можем сделать следующие выводы относительно элементов поверхностных частей солнца:

1. Помимо неизвестного ближе, легкого газа—корония, солнце состоит из тех-же элементарных тел, из которых составлена земля и метеориты.

2. Спектральный анализ обнаруживает на солнце присутствие по преимуществу элементов легких, именно 3-го и 4-го малого периода, что вполне совпадает со средним составом и земной коры, и метеоритов.

3. Атомы элементов являются на солнце сильно ионизированными, чем и объясняется ряд отличий спектров и отсутствие линий ряда элементов.

4. По отсутствию линий металлоидов и некоторых легко ионизированных элементов нельзя выводить заключения об отсутствии и самих элементов.

5. Легко ионизированные элементы или элементы бо̀льших атомных весов могут быть открыты лишь в более холодных пятнах.

6. Отсутствие линий трудно ионизированных элементов может служить доказательством отсутствия данных элементов (напр., Li, который открыт в слабых линиях только в пятнах).

7. В общем в поверхностных частях солнца преобладают элементы поля обыкновенного и отчасти поля кислого, что отвечает взглядам Вашингтона и Аббота на сходство состава и химического строения земли и солнца и на распространенность на солнце элементов петрогенических, как и в оболочке земли.

8. Менее отчетливо, чем на земле, проявляется на солнце преобладание элементов с атомными весами, кратными 4; в грубых чертах это проявляется в значении для солнца He, Ca, Mg, Fe, Ti, отчасти Ni. Однако, систематически это положение проведено быть не может.

9. Все вышеприведенные соображения касаются лишь наружных оболочек солнца, тогда как о более центральных его частях мы ничего не знаем.

10. Так как солнце является карликовою звездою спектрального типа G, то приведенные выше соображения, вероятно, могут быть приложены к большинству аналогичных желтовато-красных звезд нисходящей ветви (см. § 50).

X. Химия туманностей и звезд.

А. Туманности.

§ 48. Прежде всего наше внимание привлекают химические элементы туманностей (71). Если для солнца, благодаря его прекрасной изученности и глубоким теоретическим предпосылкам Сага, открыто поле для более точного учета химических элементов, то нельзя того-же сказать относительно туманностей — огромной, сложной и вероятно неоднородной группы (72).

Туманности разделяются на несколько групп: неправильных, спиральных, кольцеобразных и планетарных. Их спектральная характеристика весьма разнообразна и далеко не так проста, как это казалось раньше, когда в их составе видели только неизвестный на земле газ — небулий и водород.

Сейчас с несомненностью известно, что кроме небулия, водорода и гелия можно в туманностях подметить слабые линии Mg и ряда элементов солнца и, наконец, еще ряд элементов, совершенно незнакомых нам. Повидимому, спиральные туманности по линиям спектра ближе всего подходят к солнечному спектру или спектру звезд классов K и G (см. дальше § 50); другие состоят из твердых частиц, дающих сплошной спектр. Последними работами Ликской Обсерватории еще отмечены в туманностях C и N.

Неясною остается нам и природа небулия, которому Никольсон придает атомный вес в 1,31 (вернее между 2 и 3), считая его состоящим из отрицательного электрона. Много было попыток объяснить природу небулия, но ни Рёзерфорд, ни Гаркинс не могли окончательно выяснить его природу, причем вероятным является, что небулий отвечает H_3.

Разнообразие и сложность спектров туманностей стоит несомненно в связи с их сложною природой. Начиная с весьма

холодных туманностей, свечение которых объясняется электрическими разрядами (луминисценция), мы имеем все стадии нагревания туманности вплоть до температур наружных частей в 13000 — 15000° С. В связи с этим все газовые и спиральные туманности обнаруживают между собою постепенные переходы.

Трудно встретить больше противоречий, чем в области попыток найти для туманностей определенное место в звездной эволюции. В планетарных туманностях еще Гершель видел звездные миры «in statu nascendi», тогда как Каптейн ставит их в конце эволюции, считая, что в них превращаются временно вспыхнувшие Nova. Иное положение тот же Каптейн отводит неправильным туманностям; их лучевая скорость отвечает скорости молодых гелиевых звезд; они весьма сходны с бесформенной туманной материей, окружающей гелиевые звезды.

Наиболее вероятно, что часть туманностей обладает весьма низкою температурою и состоит из твердых или жидких частичек. По мнению Аррениуса, температура таких туманностей могла-бы быть не выше 50° С. abs.; при этом в газообразном виде могли-бы сохраниться только Н, Не и Neb.; вообще при этих температурах газовая фаза, согласно мнению Планка (1923), почти не существует; светящаяся благодаря луминисценции масса, путем конденсации, при неполном уравновешивании Ньютоновских сил силами светового давления, должна приходить в нагретое состояние и далее, очевидно, — в состояние звезд. Планетарные туманности как будто-бы аналогичны по спектрам новым звездам и в этом случае могут рассматриваться, как весьма продвинувшиеся стадии космического процесса или как новое зарождение космического процесса с весьма высокой температурой. В противоположность им — неправильные газовые туманности стоят как будто-бы в начале эволюции и могут быть, повидимому, поставлены наравне с восходящею ветвью эволюции звезд (см. таблицу на стр. 104).

Какие-же выводы мы можем сделать из сказанного?

1. Спектр и природа туманностей еще не могут считаться выясненными, а их химический состав сколько-нибудь определенным.

2. При разнообразии температур различных видов туманностей и их физического состояния трудно нарисовать правильную

генетическую картину, связав ее с определенными химическими элементами.

3. Нет особых оснований думать, что состав туманностей чем-либо существенным отличается от обычных элементов космоса, хотя в них, больше чем в каких-либо других космических телах, наблюдаются линии незнакомых на земле элементов, в том числе небулия с атомным весом, вероятно, между водородом и гелием.

B. Звезды.

§ 49. Мы переходим к необычайно большой и важной группе космических тел к тем трем-четырем миллиардам звездных миров, которые составляют основу нашего мироздания, в которых накоплена главная часть мировой материи, где таится еще не разгаданная картина истории космических процессов.

За последние десятилетия изучение звезд сделало огромные успехи, оно выросло в целую самостоятельную область астрономии, а исследования астрофизики дали возможность судить о величинах, расстояниях, массах, скоростях, температурах и внутренней природе звездных миров. Сейчас, особенно после работ индийца С а г а, термодинамическая обстановка поверхности звезд оказалась выясненною, и это дало возможность критически пересмотреть старые вопросы о химических элементах звезд и подвергнуть совершенно новому анализу те длинные списки линий элементов, которые давались астрофизическими исследованиями.

Между старой и новой концепцией химии звезд сейчас лежит огромная пропасть, и нет сомнения в том, что в свете новых идей старые схемы об эволюции химических элементов в звездах, красиво и логично построенные Л о к а й е р о м, К р у к с о м, М о р о з о в ы м, сейчас уже отошли в область истории.

Старые идеи Л о к а й е р а устанавливали, что звезды по составу слагающих их химических элементов резко различны между собой. Целый ряд групп, намечаемых различными классификациями, отличаются одни от других развитием или образованием тех или иных атомов. Так как между всеми этими

группами наблюдались постепенные переходы, то Локайер создал необычайно стройную и логичную гипотезу последовательного развития звезд, причем постепенные стадии их развития характеризовались и изменением температур, и новообразованием или преобразованием химических элементов. Эволюция космическая сводилась к эволюции типов атома. Локайер очень стройно расположил все звезды в две ветви повышающейся и понижающейся температуры, связал с отдельными фазами процесса те или иные типы старых классификаций Секки и Фогеля и по спектральным линиям для каждого типа, как особой фазы длительного процесса, определил химическую природу звезды.

Однако, современные теории ионизации элементов поставили этот вопрос на совершенно новую почву. Оказалось, что различие в спектрах и в появлении тех или иных линий элементов вызывается не только наличием или отсутствием того или иного элемента в звезде, но термодинамическими условиями ее поверхности. «Die typischen Sternspektren illustrieren lückenlos die physikalischen Erscheinungen, die aufeinanderfolgen, wenn mann die Temperatur allmählig von 4.000 bis 30.000° abs. steigert», говорил Сага (1921 г.), прибавляя, что в общем он думает, что все виды звезд, как и солнце, составлены из тех-же элементов, что и земля.

Таким образом проблема анализа спектральных линий получила совершенно новое течение. Я в дальнейшем вкратце изложу результаты старых астрофизических наблюдений, как базу для новых работ, и только потом перейду к анализу химических элементов звезд.

§ 50. Из старых классификаций в основу современных идей положены схемы Секки, Фогеля и особенно Гарвардской Обсерватории. На фоне этих схем Локайер расположил звезды в известной системе и дал очень детальную характеристику, подробно сравнивая их спектры со спектрами в электрической искре [1]) (73).

---

[1]) Anderson, в связи с работами Обсерватории Mount Wilson, пропускал через тонкую нить в 10^{5} секунд ток в 26.000 вольт, благодаря

Заимствую из классической книги А. Белопольского (1921 г.) описание основных типов, сведенных мною кратко на прилагаемой таблице (стр. 104—105).

В I классе помещены звезды, в спектре которых видны линии гелия и водорода, причем интенсивность линий того и другого элемента почти одинакова. Фиолетовый конец спектра ярок и простирается далеко. Класс этот обозначается буквою B, но стоит на первом месте, так как последовательно пришли к убеждению, что звезды этого типа наиболее молодые в эволюции. В этих спектрах совсем нет линий металлов.

Последовательные ослабления линий гелия, усиление водородных линий и появление слабых линий кальция дают критерий для перехода от типа B к следующему через градацию B_1, B_2, B_3 и т. д. до B_9 и A. Звезды типа B встречаются чаще вблизи и в самом Млечном пути, чем в остальных областях неба, и особенно много их в созвездии Ориона, отчего их часто называют Орионовыми.

В спектре типа A главным критерием являются водородные линии — широкие и густые. Гелиевые совсем отсутствуют. Хорошо заметны линии кальция. В начальных стадиях в спектре этого типа с большим трудом заметны наиболее яркие линии лабораторного или солнечного спектра — спектра железа. По мере развития этого типа (A_1, A_2, A_3 и т. д.) линии металлов, кальция и железа, а затем и других металлов становятся все заметнее, при этом фиолетовый конец спектра слабеет и укорачивается.

Тип F заключает еще неясные линии водорода, но испещрен множеством тонких резких линий железа, титана, магния; линии кальция бросаются в глаза, по ширине подходят к линиям водорода в типе A. Переход типа F через градации F_1, F_2, F_3 и т. д. показателен последовательным усилением яркости линий металлов, ослаблением водородных линий, значительным расширением, до размера полос, линий H и K и ослаблением фиолетового конца спектра.

чему температура достигала, по его мнению, 30.000° С. Этим путем, по мнению Anderson'a, получаются спектры, сравнимые со спектрами солнца и звезд.

Тип G, в который переходит тип F, заключает в себе солнце и тожественную по спектру звезду α-Aurigae. Сплошной спектр так испещрен линиями различной интенсивности, что трудно найти место, свободное от них. Водородные линии того-же порядка.

Переход к следующему типу K характеризуется последовательным усилением линий металлов, ослаблением водородных

ТАБЛИЦА XXXVIII.

Нагревание ⟶

	Спиральн. туманности	Гиганты (диам. 3 — 66 ⊙) С увелич. светов. давлением						Газообразн. туманности	Ослабле давле
Типы Обсерв. Гарварда . .	?	M	K	G	F	A	B	Звезды 0 (туманности)	B
Удельный вес (при $H_2O=1$)		$1{,}10^{-5}$	0,001				0,05		0,045
Абсолютная темп. наружных частей	—	3000 — 4					18000	> до 25000 <-	18000 — 14
Цвет	—	Красные		Желтые		Белые		Голубовато-белые	Б е
Скорости . (клм. в сек.)	—								12,9
Спектры . .	Сплошной спектр с линиями	См. правую половину диаграммы.						Сплошной спектр He, H+	Линейный H, He ? немного Si, C, O, N немного иониз. мет. (Fe+, Ca++, Mg+)
								Газовые	

Примечание: Жирная линия (горизонтальная) связывает типы звезд, в которых различие между гигантами и карликами мало заметно. Спектры нанесены лишь в правой нисходящей (= охлаждающейся) части таблицы, но должны быть вероятно, в некоторой части повторены и в

линий и значительным укорочением фиолетового конца. В спектре последних градаций этого типа начинают попадаться полосы в сплошном спектре, обусловленные химическими соединениями. Эти полосы с особою резкостью появляются в следующем типе, обозначенном буквою M.

Звезды, в спектре которых встречаются блестящие линии, обозначаются буквою O, причем этот класс, в свою очередь

Типы звезд.

Охлаждение ————————→

ние светового ния		Карлики С слабым свет. давл. и значением тяготения.			Планетарн. туманности
A	F	G	K	M (N)	P?
около 0,1		1,38 (солнце)		5,4	
11 — 9000	7 6000	6000 5000	около 5000	5 3000	
л ы е	Ж е л	т ы е	К р а с	н ы е	
21,9	28,7	29,9	33,6	34,3	18 — 39
	Линейный	Линейный	Смешанный	Полосчатый	He, H, Neb. на фоне непрерывного
H, Si Fe, Ca усиление иониз. мет. (Fe^+, Ca^+, Mg^+, Cr^+)	H, Fe, Ti, Cr Mg, Ca, Mn иониз. мет (немного) Ca^+	Fe, Ca, Mg, Ti, Mn, Si линии H сл	усиление металлов ослабление H	Химические соединения (углеродор.) в M - TiO_2 в N - соед. C	
Ионизир. (прото	металлы металлы)	Металли	ческие	Химич. соединения	

левой. Последние работы, повидимому, относят планетарные туманности, в противоположность мнению Кантенна, к неправильным газовым туманностям и отмечают на них линии углерода и азота. Цифры скоростей по Кемпбелю (1915 г.).

подразделяется на Oa, Ob, Oc, Od, Oe, в зависимости от разной яркости линий. Повидимому, подразделение Oe предшествует в эволюционном порядке типу B, особенно подразделение Oe_5.

Буквою P обозначаются планетарные туманности.

Буквою Q — звезды со спектрами, не укладывающимися во все описанные выше подразделения, по преимуществу с блестящими линиями.

§ 51. Перейдем теперь к современным взглядам на характер тех линий, по коим созданы схемы Локайера, и которые служили основанием для представления о распространении отдельных элементов на звездах разных типов (75).

Профессор физики Калькутского Университета, молодой индиец Megh Nad Saha, выдвинул теорию ионизации элементов, и очень скоро выяснилось, что эта теория совершенно правильно разгадала проблему спектров звезд. В сущности многое из старых понятий Локайера могло-бы быть оставлено лишь с заменою его гипотетических протометаллов и протоэлементов ионизированными атомами (см. § 45).

В газовой смеси при нагревании от 3.000 до 25 — 30.000° идет ионизация элементов, т. е. отделение отрицательных электронов, благодаря чему изменяется спектр элемента, давая новые серии, перемещаясь к ультрафиолетовой части и, наконец, совершенно скрываясь за ее пределом в условиях наших методов наблюдения. Таким образом, сильно ионизированный газ оказывается лишенным своих типических линий или даже оказывается совершенно невидимым. Степень ионизации зависит от t, p и A; она увеличивается с температурой и атомным весом элемента (в грубой схеме) и уменьшается с увеличением давления.

Таким образом, видимость линий того или иного элемента зависит от легкости или трудности его ионизации, и при одних и тех-же термодинамических условиях трудно ионизированный элемент может быть видимым, а легко ионизированный — нет.

Russel дает примерный список потенциала ионизаций некоторых элементов:

Cs	Rb	K	Na	Li	H
3,8	4,16	4,32	5,11	5,33	13,54
Ba	Sr	Ca	Mg	Zn	He
5,12	5,67	6,08	7,65	9,4	25,2

В этом списке более тяжелые элементы ионизируются легче и, потому, гораздо труднее и реже будут наблюдаться, чем более легкие, в условиях высоких температур. Чем выше температура, тем вероятнее сохранение линий только у последних; чем ниже,—тем понятнее линии и у более тяжелых элементов. Отсюда ясно, что в очень нагретых звездах (см. таблицу) мы имеем H и He и что Rb может быть найден лишь на самых холодных. При 23.000° abs. водород совершенно ионизируется и делается невидимым, для He в интервалах температур от 23 до 30 тысяч появляется новая серия линий.

Исходя из этого, Saha и Emden строят следующую примерную картину химии звезд, причем ионы отмечены химическим знаком +:

ТАБЛИЦА XXXIX.

Распределение атомов и ионов H, He, Ca и Mg при разных температурах.

Типы звезд. (ср. т. XXXVIII).	Абс. темпер.	Атомы, ионы ( ).
O	25000	H+, He+.
B	20000	H, He+, He, Ca++
	15000	H, He, Mg+, Ca+
A	12000	H, Mg+, Ca+, (Ca)
G	8000	H, Ca, Ca+, Mg
M	4000	Ca, Mg

Эта таблица для четырех элементов H, He, Ca, Mg устанавливает те термодинамические условия, при которых каждый из них виден в спектральных линиях. Так как эта таблица необычайно близко отвечает тому, что наблюдается на звездах, то мы можем сказать, что по отношению к указанным выше

элементам различие разных типов звезд определяется не наличием или отсутствием одного из них, а лишь термодинамическими условиями, в которых атомы находятся.

Если таким образом целый ряд наших старых выводов падает, то все-же возникают новые, намечающие новые пути к решению вопроса о химии звезд. Так, отсутствие Mg при наличии Ca определенно говорит, что Mg мало или вовсе нет; отсутствие Li при наличии K и Na тоже говорит, что Li нет, и т. д. Таким образом, только сейчас намечаются правильные пути к познанию химии звезд, но на них еще только вступает современная астрофизика, пересматривая свои старые выводы и строя новые, более достоверные.

§ 52. Как мы только что видели, современные теории совершенно устранили старое представление о разном химическом составе звезд и выдвинули идею об их термодинамических различиях. Отсюда вытекают, с одной стороны, все современные теории об эволюции звезд, с другой — ряд гипотетических предположений о процессах изменения атома. Нет никакого сомнения, что наиболее стройная теория в первом направлении дана Директором Обсерватории в Кембридже Эддингтоном, который, противополагая Ньютоновские силы притяжения и силы светового давления, дал схему последовательности изменения во времени звезд — газовой массы со средним атомным весом около 2,8 — 3,3. Именно эта схема, в согласии с идеями Каптейна, легла в основу таблицы химии звезд на стр. 104 [1] (74).

Однако, эта теория оставляла без внимания вопросы химические и, строго говоря, в свете идей Сага они не могли подниматься. С точки зрения идеи ионизации у нас нет никаких объективных критериев для суждения об эволюции вещества в звездах; даже больше — как будто-бы эта теория устанавливает полное единство химического состава всех типов звезд. Однако, такая постановка, как мы уже видели на частном примере солнца, тоже неприемлема. Огромное нагревание звезд до таких температур, при которых даже наружные части нагреваются до

[1] По всей вероятности имеется несколько путей эволюции (звезды S — Merrill, 1922 г.).

20 — 25 тысяч градусов, не находит себе объяснения без допущения какого-либо источника энергии внутри атома. Отсюда вытекает необходимость принятия каких-либо явлений экзотермического характера, каковым может явиться или синтез элементов с превращением части массы в энергию, или радиоактивный распад тяжелых атомных систем.

Большинство (Eddington, Perrin, Arrhenius, Hale и др.) кладут в основу нагревания звезд процесс образования более тяжелых атомов, идущий в центральных частях звезд, где, по Эддингтону, господствуют температуры порядка миллионов и десятков миллионов градусов [1]) и давление в 10^7 атмосфер. Особенно детально термический ход этого процесса намечен Нернстом, хотя и он в основу нагревания ставит не синтез, а распад с его основными законами (1921 г.).

Так или иначе, но нельзя не принять при процессе образования звезд какого-то еще нам неизвестного ближе источника энергии.

В начале мы имеем большие холодные туманности, близкие по температуре к абсолютному нулю, с большою силою тяготения, светящиеся благодаря электрическим разрядам. Состав их, по Планку, почти исключительно из твердого вещества; из возможных газовых частей — только H, He и вероятный промежуточный газ Neb, (небулий). Начинается процесс сжимания и одновременно экзотермической конденсации элементов; этот процесс регулируется взаимоотношением между Ньютоновскими силами и силами светового давления. В результате конденсации появляются сначала более легкие группировки Mg, Si, C, потом более тяжелые Ca, Ti, Fe. Большая звезда гигант довольно быстро раскаляется, и формулы Нернста дают картину кривой ее температуры. Массы звезд окружены роем космической пыли. Постепенно и значительно медленнее идет охлаждение, звезда превращается в карликовую, наконец, совершенно гаснет, чтобы потом где-либо вновь загореться в виде Nova.

[1]) Температура все-же недостаточная, по данным Нернста, для ускорения радиоактивного распада. Иного мнения Perrin, считающий, что скорость распада различна в разных местах мироздания.

Космическая пыль, отогнанная сильным световым давлением, в новых местах космоса собирается в новую холодную туманность, чтобы снова начать цикл образования космических тел.

Развитие звезды протекает тем медленнее, чем больше ее масса.

Ход температурной кривой позволяет Нернсту нарисовать картину как количества различных звезд, так и продолжительности отдельной стадии: очень мало гигантских звезд, очень много более плотных белых звезд, довольно много желтых карликовых, очень много карликовых красных звезд. Стадия гигантов не долгая, не свыше 400 миллионов лет с момента нагревания туманности; продолжительность охлаждения от высшего нагревания до состояния нашего солнца не превосходит 3 миллиардов лет (3.10^9); для продолжительности жизни на земле, по мнению Нернста, остается не свыше 400 миллионов лет (76).

Такова наиболее вероятная концепция развития звезд; в ней химические превращения играют еще совершенно не познанную нами роль.

§ 53. Мы подходим, следовательно, к тем выводам, которые провозгласил еще Шварцшильд (1908 г.) и которые сейчас положены в основу современных воззрений: повсюду во вселенной химическое строение материи одно и то-же...; звезды составлены равномерно из всех элементов... Сейчас, после классических работ Сага, как будто-бы выбита основа из-под теорий эволюции, и лишь косвенным образом, на основании ряда предположений, нарисованных в предыдущем параграфе, мы допускаем некоторый процесс интеграции элементов.

Но, если мы отрешимся от этих еще далеко не доказанных положений, перед нами остается задача — собрать воедино, независимо от звездного типа, общую картину всех элементарных тел, наблюдаемых на звездах. Эта общая картина дается мною ниже на следующей таблице (причем элементы, известные только на солнце, в нее не включены).

ТАБЛИЦА XL.

Элементы звезд (ср. таблицу XXXVII, солнце).

Ряды.	I	II	III	IV	V	VI	VII	O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды.
1	**H**	Nb						**He**				C	N	O			2
3	Na	**Mg**		**Si**					K	**Ca**	Sc	**Ti**	V	**Cr**	Mn	**Fe Co Ni**	4
5										Sr							6
7																	8
9																	10

Я нанес на диаграмму лишь основные элементы, набрав жирным те из них, которые, повидимому, имеют особое значение. Конечно, таблица очень не полна, но и она снова выдвигает элементы порядковых номеров от 11 до 28 и снова занимает то «поле обычное», которое являлось характеристичным и для земной коры, и для метеоритов.

На основании сказанного выше, мы должны прийти к нижеследующим выводам:

1. Несмотря на огромное количество и разнообразие типов звезд, возможен их химический анализ на фоне знания их величины, массы, яркости, температуры поверхностных слоев, удельного веса и скоростей движения.

2. Большинство типов звезд располагаются по вышеуказанным признакам в общую систему, связанную постепенными переходами и, вероятно, представляющую один или немного общих генетических рядов.

3. Казавшиеся раньше резкими различия в химическом составе звезд ныне объясняются различием термодинамической обстановки поверхностных зон звезд, в общем представляющих газовые скопления.

4. Нет данных, которые-бы говорили против признания химического состава звезд более или менее одинаковым.

5. Химические элементы звезд в общем тожественны с землей и с метеоритами, хотя не исключено некоторое увеличение H и He в известных звездных типах.

6. Хотя мы не имеем еще достаточно полной картины ионизации элементов, связанных с—t, p и A (температура, давление и атомный вес), тем не менее надо думать, что в звездах преобладают элементы не тяжелые, с атомными весами не свыше 60.

7. Можно думать, что в составе звезд преобладают элементы H, He, C, Mg, Si, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni (в меньшей степени O, N, Sr, V, Co), т. е., за исключением (из главных) H и Mn, почти исключительно элементы кратные 4 и, вероятно, построенные из гелиогрупп.

8. Вышеприведенный список элементов почти тожествен с элементами наиболее глубинных зон земной коры и особенно с элементами метеоритов.

XI. Перераспределение элементов в космосе.

«Вселенная явилась в величественном образе электро-магнитного поля, в котором развертывается двигатель жизни — излучение».

Н. Умов. 1912 г.

§ 54. На предыдущих страницах, последовательно, шаг за шагом, мы выясняли распределение отдельных элементов в земле и различных космических телах, пытаясь вникнуть в законы, определяющие современное распределение, и в те причины, которые могли это распределение вызвать.

В этом направлении мы сразу столкнулись с двумя возможностями объяснить современное распределение атомов мироздания. С одной стороны в основу наших представлений можно поставить идеи взаимного превращения и образования новых атомов из старых; в этом случае наблюдаемое сочетание атомов в мироздании могло-бы получить объяснение в том последовательном процессе превращения, радиоактивного распада или интеграции элементов, который вне каких-либо механических перемещений атомов, на том-же самом месте, в зависимости от хода процесса, может вызвать большое разнообразие элементарных тел. Так, в куске очищенного урана под влиянием радиоактивнаго распада возникает целый цикл новых атомов вплоть до свинца.

К этой группе природных явлений, в значительной степени лежащих за пределами точного знания и наблюдения природы, мы вернемся в последней заключительной главе.

Но есть еще другая область явлений, совершенно несомненная и играющая огромную роль в мироздании: это явление переноса, концентрации или рассеяния уже гото-

вых атомов элементарных тел. Это целый цикл процессов космического, геологического и физикохимического характера, не только в значительной степени положивших начало скоплению космической материи и образованию космических тел, но и постоянно перегруппировывающих космос согласно ряду основных законов природы [1]).

Мы должны считать, что современное распределение элементов в природе не есть законченная, постоянная форма их накопления; наоборот, мы наблюдаем многочисленные и сложные явления перегруппировок и перераспределения; каждое космическое тело—солнце, земля или кометы — не сохраняют своего состава, а связаны между собою и с космосом постоянным и сложным обменом материальных частиц. В нашей земле мы также наблюдаем постоянное перемещение элементов, приход и уход отдельных атомов в мироздание, сложный обмен наружной пленки с внутренними частями планеты и т. д.

Область, которой я касаюсь, является еще новою в истории науки; в ней еще не может быть дано никаких количественных данных; пока намечаются лишь самые явления и те силы, которые их вызывают.

§ 55. Силы, которые перемещают атомы в мировом пространстве, могут быть весьма различными и связаны с общими законами свойств материи.

В основу всех явлений этого порядка мы должны внешне поставить следующие пять сил (77):

1. Силы мирового тяготения.

2. Силы светового давления.

3. Силы радиоактивного распада и излучения (в разреженной среде), связанные с ядром или внутренними электронами.

4. Силы теплового движения молекул и атомов (силы диффузии).

[1]) Идеи перераспределения материи особенно горячо выдвигались Аррениусом.

5. Силы химического сродства и силы кристаллизационные (связанные с внешними электронами).

С этими основными силами связаны следующие явления переноса—миграции элементов (78):

6. Движение космических тел.

7. Падение метеоритов.

8. Унос легких газовых молекул.

9. Механические движения в космическом теле.

10. Дифференциация магмы.

11. Разделение по аггрегатному состоянию.

12. Перенос в водных растворах и в газовых струях.

13. Перераспределение под влиянием органического мира и деятельности человека.

1.—Перехожу к краткому рассмотрению вышеперечисленных пунктов, оставляя более детальное изучение этого вопроса до специальной монографии о миграции элементов в земной коре и в космосе.

Несомненно, одною из главнейших сил, определяющих распределение элементов в их основных, грубых чертах, является сила мирового тяготения, сила взаимного притяжения атомов, подчиняющаяся прямой пропорциональности масс и обратной пропорциональности квадрату расстояния. В основе всех космогоний, начиная с Канта—Лапласа, Дарвина, Чемберлена и кончая новейшими теориями Эддингтона, значение силы взаимного притяжения и распределения элементов по их массам является общепризнанным. Теория Канта—Лапласа всецело придавала мировому тяготению огромное значение, приписывая ему образование туманности, сгущение последней в жидкую фазу и распределение материи обратно пропорционально плотностям (удельным весам элементов). В сущности и изящные идеи Дж. Дарвина и особенно последние идеи Грина в одинаковой форме приливную волну ставят в основу космогоническаго процесса, т. е. опять-таки силы тяготения. Теория Чемберлена—Салисбюри, в значительной степени связанная с идеями Дж. Дарвина, тоже основана на этом законе, но главное его проявление, согласно этим идеям, принадлежит не первичному скоплению

метеоритов, а позднейшей перегруппировке, с выделением кверху — к коре, наиболее легких частиц.

Отчасти к этим идеям примыкают Шварц и В. М. Гольдшмидт, который считает, что и сейчас под влиянием этих сил в земле идет постоянное и постепенное перемещение атомов: тяжелые уходят в глубины, а легкие поднимаются кверху.

Наконец, изящная теория Эддингтона, признавая большое значение при образовании звезд светового давления, противополагает ему силу мирового тяготения, благодаря чему сочетание и взаимное преодоление этих сил обусловливает собою и замечательное постоянство масс звезд, и всю историю их эволюции.

Все земные процессы миграции элементов, на которых мне ниже придется остановить свое внимание, идут в первую очередь под влияним этой мировой силы, распределяющей элементы в мироздании согласно своим основным законам—концентрирующей в центре более тяжелые атомы и собирающей более легкие в наружных частях космических тел.

2. — Силы светового давления были выдвинуты, как могучая космическая причина, после того как П. Лебедеву удалось экспериментально доказать отталкивающую силу лучеиспускающих тел (79). Световое давление ныне, после классических работ Аррениуса и Эддингтона, рассматривается, как величайшая космическая сила, отталкивающая легкие атомы или противодействующая мировому тяготению. Подсчеты Кембриджского астронома показывают, что при очень большом коэффициенте излучения световое давление космического тела преодолевает Ньютоновские силы и отбрасывает частицы на расстояния до тех пор, пока эти две силы не уравновесятся. Подсчеты Лебедева для кометных хвостов без всякого сомнения определили их образование, как результат давления лучей света на частицы с радиусом около 10 [illegible] см. Так как величина давления зависит от удельнаго веса частицы и ее массы (т.-е. поверхности), то очевидно, что световое давление сортирует в мировом масштабе частицы, как по их величине, так и по их удельному весу; оптимум отталкивания наблюдается при удельном весе 1 и размере частичек в 0,00016 мм.

Действительно, законы светового давления приложимы не к молекулам, а к их группам—пылинкам, даже кристаллическим частицам, причем пылинки, радиус которых не превышает одной тысячной миллиметра, будут отталкиваться при 0° С в мировом пространстве с силою, порядок которой в миллион раз превышает порядок силы их Ньютоновского притяжения.

В случае давления на газы происходит еще большая дифференцировка элементов, так как свет давит только те газы, которые его избирательно поглощают, хотя в общем световое давление, при ничтожной величине газовых молекул, менее действительно.

Космическая роль светового давления сказывается в отбрасывании от центральных космических тел и отдельных газовых частиц, но более всего космической пыли. Она широко проявляется, если правильно современное толкование, в образовании кометных хвостов, зодиакального света и солнечной короны, а также в дифференциации элементов на звездах. Повидимому, на нашей планете непосредственная миграция элементов под влиянием этой силы в настоящее время не происходит, но ее значение было очень велико при процессе образования нашей планеты и при первичном [1]) распределении элементов.

3. — Третья группа сил, вызывающих миграцию элементов, это те излучения, которые вызываются при радиоактивном распаде и электрических разрядах (80).

При распаде радиоактивного вещества прежде всего наблюдается выделение α-лучей и связанный с ним вынос частиц гелия, которые освобождаются из старого атома и свободно мигрируют далее под влиянием уже физикохимических условий равновесия среды. Мы знаем сейчас, что частицы α в воздухе обладают длиною пробега до 70 мм., тогда как в минералах, напр., в биотите, их пробег измеряется только 0,01—0,03 мм. Как ни малы эти числа, но они показывают миграцию элемента гелия в самой твердой среде и перенос его частицы излучением.

[1]) Под „первичным" как здесь, так и в дальнейшем изложении я понимаю явления, стоящие за границею наших геологических данных и геологической хронологии.

Гораздо грандиознее явление переноса материальных частиц теми излучениями, которые наполняют собою мировое пространство, и природа которых еще не установлена. В частности некоторые думают видеть в явлении северного сияния влияние α-частиц солнечных излучений, другие приписывают большое значение в миграции элементов светящимся холодным туманностям, в которых свечение обусловливается электрическими разрядами в сильно разреженной среде.

Мы не в состоянии сейчас дать полной картины химического значения этих явлений в миграции элементов, но не можем не остановить внимания на том примере переноса гелия в твердой среде, который я привел выше. Как известно, вокруг радиоактивных минералов, включенных в разные силикаты, образуются темно-окрашенные дворики. Эти дворики вызываются проникновением в минерал α-лучей, т. е. частиц гелия. Эти лучи, как нам указал Рёзерфорд, вызывают расщепление ряда нечетных элементов с выпадением водородных атомов. Очевидно, что образование двориков есть процесс расщепления каких-либо атомов, вероятно алюминия, вызванный миграцией внутри минерала α-лучей материального характера.

Нет никакого сомнения, что этот маленький случай есть только пример огромных процессов природного расщепления элементов в земной коре, вызванного миграцией частиц гелия.

4. – Четвертая основная сила заложена в самостоятельном тепловом движении молекул, в так назыв., Броуновском движении. Это одна из величайших сил мироздания, имеющая огромное значение как при формировании космических тел, так и при их дальнейшем существовании.

Особенное внимание на эту силу впервые обратила планетезимальная гипотеза (81), которая, противополагая ее силам Ньютоновского тяготения, в этой силе видела причину очень важного закона распределения легких и тяжелых элементов в мировом пространстве.

Авторы этой теории отмечали, что движение молекул, находится в тесной зависимости от молекулярного веса, и приводили табличку скоростей движения частиц. Stoney для T=0° С. дает следующие средние скорости:

H_2	1,69 клм./сек.	N_2	0,45 клм./сек.
He	1,1	Воздух	0,45
CH_4	0,60	O_2	0,42
H_2O	0,57	CO_2	0,36
CO	0,45	Cl_2	0,29

Эти цифры, хотя и являются только средними, а не максимальными, все же показывают, что преодоление ими мирового тяготения может итти только на очень малых космических телах, так как напр., для земли предельная скорость, отвечающая силе тяготения, равна 11 клм., а для луны 2,38 клм. Между тем максимальные скорости движения частиц газов не достигают утроенных цифр нашей таблицы. Отсюда делается ясным, что в порядке увеличения молекулерного веса легкие газы должны постепенно исчезать из малых космических тел, сначала H_2, потом He, H_2O, N_2, O_2 и, наконец, CO_2 и более тяжелые углеводороды(82).

Из этих данных вытекает, что сохранение газов в каком-либо космическом теле зависит от его массы или, иначе говоря, от величины поля тяготения. Если масса очень мала, то Ньютоновские силы не могут удержать легких элементов, улетающих согласно кинетической теории газов. Таким образом первичный зарождающийся комок элементов не может содержать в себе легких летучих тел. Потом при постепенном космическом увеличении комка газы смогут удерживаться в порядке, обратном вышеприведенному списку, и в зависимости от взаимоотношений Ньютоновского притяжения и сил молекулярных, мы будем иметь вокруг космического тела оболочку или только из тяжелых газов CO_2, тяжелых углеводородов (при малых ядрах), или-же оболочку из O, N и CO_2, типа нашего воздуха (при больших ядрах).

Эти необычайно интересные идеи совершенно определенно говорят нам о том, что накопление газовых оболочек в наружных частях космических тел идет строго закономерно, с определенным отбором химических элементов. В частности, процесс вылета легких газов из атмосферы земли вполне возможен и вероятен; частицы водорода и гелия при известных условиях могут преодолевать мировое тяготение и из высших слоев атмо-

сферы улетать в мировое пространство; это совершенно необходимый и, повидимому, могучий процесс потери землею части своего вещества; впрочем Meyer и Wegener пытаются опровергнуть это явление, указывая, что атомы водорода недостигают нужных скоростей и, потому, накапливаются в верхних частях атмосферы.

Силы молекулярные проявляются, однако, в явлениях миграции еще иначе. Вся область явлений диффузии есть не что иное, как проявление молекулярных сил движения. Между тем силам диффузии мы обязаны в жидких и твердых космических телах огромной важности физикохимическими процессами: на нашей земле они сказываются как в магматической области, так и в области водных растворов (83), и в газообразной среде. В последней, благодаря силам диффузии, происходит быстрое перемешивание элементов и их равномерное распределение; в водных и магматических растворах, благодаря диффузии, идут процессы кристаллизации; благодаря диффузии идет для некоторых элементов (напр., Au) их распыление в поверхностной пленке земли и благодаря тем-же силам, по мнению В. Вернадского, некоторые элементы с наибольшими способностями к рассеянию исчезают из обихода космического тела.

§ 56. 5. — Наконец, остается еще большая сила мирового значения, связанная с внешними электронами, — силы химические, силы химического сродства (84). Значение этих сил как будто-бы недооценено в тех мировых концепциях, которые намечали Nernst, Arrhenius и Perrin. Силы химического сродства, связанные с валентными электронами, являются несомненно связанными со строением ядра и его электрическим полем. Образование тех или иных химических соединений определяет собою в значительной степени дальнейшую судьбу входящих в соединение элементов, ибо весь комплекс физических и физикохимических свойств молекулы определяет ряд явлений миграции и химической перегруппировки. Образование из химически неподвижных атомов легкоподвижных систем соединений явлется огромным фактором в космических и геохимических судьбах элемента. Если для C и Si в их несвязанном виде или в виде сложных устойчивых силикатов не обу-

словливает миграции этих элементов, то, наоборот, их соединения в виде CO, CO_2 или SiF_4, благодаря летучести в условиях земной обстановки, создают мощные процессы переноса химических элементов. Mutatis mutandis этот-же химический процесс обусловливает перемещение углерода в хвостах комет и может быть на некоторых звездах. К сожалению, для космических тел вопрос о химических соединениях является еще очень мало разработанным. Если в кометах мы знаем спектры CO и CN, если в глубине солнечных пятен подразумеваются какие-то соединения, может быть окислы титана, магния и кальция, то эти единичные факты еще не позволяют нам не только выяснить ход химических процессов (т. е. сочетания элементов) в космосе, но даже не дают пока фактического материала для каких-либо предположений. Руководящей идеей в этом вопросе являются лишь основные теоретические положения термодинамики — теория Нернста и закон Бертело: «всякая химическая перегруппировка, происходящая без применения посторонней энергии, направлена в сторону образования одного тела или целой системы тел, связанного с максимальным выделением тепла». Этот закон образования экзотермических соединений имеет, однако, полное применение лишь при абсолютном нуле. Обратно, при том-же абсолютном нуле сводится к нулю возможность образования эндотермических тел, связанных с уменьшением живой силы молекул. Наконец, из данных самого Бертело мы знаем, что обычно зарождение эндотермических тел сопутствует образованию других соединений, идущих с максимальным тепловым эффектом (85).

Эти соотношения весьма характерно проявляются в условиях нашей земной коры: в обстановке земной поверхности и верхних зон земной коры идут определенно реакции экзотермические; все явления перераспределения химических элементов определяются этим основным законом. В более глубоких зонах (Nife) коры преобладают — эндотермические (86). В условиях космических, при низких температурах мировых пространств, вероятно среди веществ туманностей, должно преобладать образование сильно экзотермических реакций: химические силы и электрические силы ядра образуют соединения с максимумом выделения тепла (напр., созидание из $H + H_1 \rightarrow He$); но этим самым частично

согласно вышесказанному возникают эндотермические химические соединения (напр., тяжелые атомы — последних рядов Менделеевской таблицы). Обратно, в условиях высоких температур, созданных теми или иными экзотермическими реакциями, идет с одной стороны отделение наружных электронов (ионизация), с другой — создается возможность возникновения эндотермических соединений. И в том, и в другом случае возникновение определенных химических группировок, возможных, все-таки, лишь в условиях небольшого интервала температур, определяет распределение и перераспределение химических элементов, согласно основным законам физической химии.

К силам химическим современная наука относит и силы кристаллизации, т. е. закономерного расположения атомов в пространстве, сливающего их в соответственные химические соединения. Сейчас силы образования кристаллов оказались лишь одним из видов сил химических, и вся огромная область построения кристаллических структур явилась лишь формою решения одной и той-же с химиками задачи. Силы кристаллизационные, связанные с силами диффузии, представляются в явлениях космоса и нашей земли фактором огромного значения: подобно тому, как в области строения ядра элементов мы обнаруживаем стремление к накоплению наиболее устойчивых планетарных систем, так-же в мире сочетаний этих разнородных систем мы имеем такое-же стремление к накоплению наиболее устойчивых группировок — кристаллов. Кристаллическое состояние материи, как определенная фаза вещества, есть одна из форм закрепления связи между отдельными элементами (или ионами), одна из сил, мешающих их свободному передвижению, удерживающая их самостоятельные движения, вызываемые согласно кинетической теории газов. Если газообразная фаза вещества обусловливает подвижность системы и облегчает миграцию элемента в космических и земных условиях, то кристаллическая — затрудняет эти передвижения, являясь в общем случае конечною формою накопления вещества, происходящею с выделением свободной энергии и, потому, более устойчивою.

§ 57. 6. — Перемещение космических тел. Миграция элементов вызывается теми многочисленными и сложными

движениями, которым подчинены космические тела. Собственное движение звезд, движение звезд в группах, перемещение масс в туманностях, столкновения космических тел — все это вызывает миграцию элементов, перераспределение их в мировом пространстве. При скоростях звезд от 13 до 38 клм. в секунду неизбежно должно наступать неодинаковое перемещение элементов различных атомных весов и различных собственных молекулярных скоростей. В астрофизике уже отмечаются такие явления, при которых для одного и того-же космического тела скорость движения в спектрограммах одних элементов не совпадает с другими.

Для нас кажется несомненною возможность некоторой дифференцировки атомов по их атомному весу под влиянием собственного движения космических тел.

7. — Перенос метеоритов. Если вышеприведенные явления лишь косвенно давали представление о роли движения космических тел при миграции элементов и их перераспределении, то совершенно несомненное и огромной важности явление представляет падение на землю метеоритов и космической метеорной пыли. Мы имеем здесь непосредственный перенос вещества, показывающий, что миграция элементов этим путем может достигать больших размеров, и что теория Дж. Дарвина и планетезимальная в своей основе имеют несомненный фактический материал. Как-бы мы ни относились к различным космогоническим теориям, тем не менее мы не можем отрицать общей роли космической пыли и метеорных роев как в явлениях, протекающих на солнце, так и на других планетах, помимо земли, и может быть на луне.

8. — Вынос легких газовых молекул. Этот важный вопрос мною уже подробно разобран в п. 4.

9. — Механические движения в космических телах. Перемещение и перегруппировка элементов происходят в космических телах под влиянием различного рода механических процессов изменения объема, образования складок, геосинклиналей, горных хребтов, изостатических перемещений целых материков, вулканических извержений и т. п. При всех этих механических и геологических процессах идет перемещение элементов, изучаемое для земли современною геохимиею.

10. — Дифференциация магмы (87). Перемещение и миграция элементов являются в результате процессов застывания расплавленных масс и им сопутствующих явлений ликвации и дифференциации магмы. Я далек от задачи сколько-нибудь подробно касаться этой большой области явлений, изучаемых современною петрологиею.

11. — Разделение по аггрегатному состоянию. Разделение по фазам: жидкой, твердой, газообразной и определенное распределение этих фаз в пространстве под влиянием силы тяжести представляют огромной важности процесс, идущий с большою очевидностью на тех телах, в которых играет роль Ньютоновское притяжение (напр., на земле). Этому разделению фаз в первичных формах мы обязаны современным строением земли и вероятно других планет. Трудною разделимостью этих фаз в поле очень слабого мирового тяготения можно объяснять по мнению V. M. Goldschmidt'а образование некоторых метеоритов (палласитов, см. прим. 41).

12. — Растворы и газовые струи (88). Перемещение растворов и газовых струй, законы их истечения являются непосредственным результатом двух сил: силы мирового тяготения и сил молекулярного движения. Весь газовый обмен земной коры, газовый обмен атмосферы с космосом, наконец, вынос из неведомых глубин газообразных струй являются примерами теллурических процессов, связанных с миграцией элементов в газообразном, диффузном или растворенном виде.

13. — Органический мир и деятельность человека (89). Перемещение элементов в значительных масштабах производится живым веществом и хозяйственною деятельностью человека. В. Вернадский придает живому веществу огромное значение в процессах миграции и перегруппировки химических элементов и пытается выразить количественно роль живой среды в тех циклических процессах, кои устанавливаются на земной поверхности для весьма многих элементарных тел.

Постепенно геохимическим фактором делается и человек, хозяйственная эксплоатация которым природных тел вызывает мощную перегрупировку некоторых элементов, соизмеримую с процессами природными.

§ 58. Таким образом, на основании рассмотренных главнейших явлений перераспределения химических элементов в космосе, мы приходим к следующим выводам:

1. Современное распределение элементов в космосе является лишь временною фазою постоянного сложного космического процесса перераспределения вещества.

2. Перераспределение элементов идет как в первичных стадиях зарождения и созидания космических тел, так и во всей их дальнейшей истории.

3. Главною силою, определяющею распределение элементов в мировом пространстве, является мировое тяготение, обусловливающее распределение элементов по атомным весам (удельным объемам) и распределяющее химическое вещество как в однофазной, так особенно в двухфазной и трехфазной системе.

4. Второю силою космического перемещения элементов является световое давление, противодействующее Ньютоновским силам.

5. Третьею силою, еще мало изученною с интересующей нас точки зрения, являются излучение в электрическом поле и излучение распадающихся радиоактивных веществ.

6. Четвертою основною силою являются силы молекулярного теплового движения (Броуновское движение), обусловливающие рассеяние элементов в мироздании, явления диффузии и различные явления, связанные с преодолением мирового тяготения.

7. Пятой силой являются те чисто химические силы, которые связаны с внешними валентными электронами и которые играют столь большую роль в химических сочетаниях; в космических явлениях перераспределения они играют сравнительно меньшую, но все-же еще не познанную роль, и только в условиях процессов, сходных с теллурическими, приобретают большое значение.

8. На основании этих пяти основных мировых сил происходят многоразличные процессы миграции химических элементов как космического, так и геологического или физикохимического характера.

9. Несомненно, что в основе всех этих явлений лежат интраатомные силы атома, как электромагнитной микропланетарной системы.

10. В истории земли, мы склонны думать, что в космическую стадию зарождения планетной системы главная роль в перераспределении элементов принадлежала соотношению Ньютоновских сил и сил светового давления, в планетарную — мирового тяготения и физикохимического распределения фаз, в геологическую — геохимическим факторам физикохимического равновесия.

11. Земная кора при современных геологических и космических условиях изменяется в своем составе, получая из космоса Fe, Mg, S, Ni и отдавая ему H и может быть He, а из глубин обогащаясь N, H, может быть C и O, и в свою очередь перемещая в глубины свои тяжелые атомы. Общий баланс обмена земной коры еще не может быть выведен.

XII. Основные проблемы космической химии.

«Еще не настало время для выводов в космогонии».

Jeams. 1919 г.

§ 59. В предыдущих главах мы последовательно рассмотрели весь фактический материал, касающийся химии земли и космических тел. Мы старались всюду оставаться в области фактов и наблюдений и тщательно отделяли от самих явлений те объяснения или гипотезы, которые часто грешат против наблюдений или являются только их возможным следствием. В настоящей главе мы попытаемся пойти несколько дальше в рассмотрении этого вопроса и выйти за непосредственные рамки наших фактических данных.

Во-первых, мы дадим общую сводку наших сведений по химии космоса.

Во-вторых, наметим те явления, которые выходят из границ намеченной схемы химии космоса.

В третьих, дадим обзор существующих космогонических воззрений на природу химии космоса.

И, наконец, в четвертых, попытаемся наметить схему решения основных проблем космической химии.

§ 60. На прилагаемой на стр. 128—129 таблице мы помещаем сводку наших сведений по химии космических тел, с небольшими примечаниями, необходимыми для ее понимания.

Мы видим из таблицы, что в общем космические тела составлены из одних и тех же элементов. Казавшееся раньше до работ Сага разнообразие химического состава явилось ошибочным и ныне заменяется новою схемою. В общем в космосе распространены одни и те-же атомы, что и на земле, за немногими исключениями. Относительное распространение

ТАБЛИЦА XLI. **Распреде**

Элементы и их порядковые номера.		Земля: Наружная кора.	Земля: Внутренняя кора.	Метеориты.	Космические тела: Солнце [1]).	Звезды.	Туманности.	Кометы [2]).	Планеты
1	H	⬤	●	•	●	⬤	⬤	●	•
2	He	•	•	—	●	●	⬤		•
3	Li	•	•	—	•				
4	Be	•	•	—	•				
5	B	•	•	—	—				
6	C	●	●	●	●	●	●	●	
7	N	•	•	—		●	•	●	
8	O	⬤	⬤	⬤	•	●		●	●
9	F	•	•	—					
10	Ne	•	—	—					
11	Na	●	●	●	●	•		•	•
12	Mg	●	●	●	⬤	⬤	•	•	
13	Al	⬤	●	●	●				•
14	Si	⬤	⬤	⬤	●	●			•
15	P	•	•	●	—				
16	S	•	•	●	—				
17	Cl	●	●						
18	Ar	•	•	—					
19	K	●	●	●	•	•			•
20	Ca	●	●	●	⬤	⬤	•	•	
21	Sc	—	—	—	●	•			
22	Ti	●	●	•	●	⬤			

ление элементов в космосе.

Элементы и их порядковые номера.		Земля: Наружная кора.	Земля: Внутренняя кора.	Космические тела: Метеориты.	Космические тела: Солнце [1]).	Космические тела: Звезды.	Космические тела: Туманности.	Космические тела: Кометы [2]).	Космические тела: Планеты.
3	V	•	•	—	•	•			
4	Cr	•	●	●	●	⬤			
5	Mn	•	•	●	●	•			
6	Fe	●	●	⬤	⬤	⬤	•	• ?	
7	Co	•	•	●	•	•			
8	Ni	•	●	●	⬤	●			
9	Cu			•					
8	Sr				●	●			
6	Ba				●				
−1	Короний				●				
−2	Небулий					•	⬤		
−92	Рад. элем.	●	•	оч. мало	• ?				

Примечания. Жирно напечатаны элементы, атомный вес которых кратный 4. В эту же группу отнесен и Ni, хотя только один его изотоп, и притом второстепенный, подходит под это определение.

Черные точки обозначают большее или меньшее значение данного элемента, причем в своих подсчетах я исходил не из весовых соотношений, а из объемных (по числу атомов). При этом мною введены лишь три градации: большой круг, средний и точка. Тире обозначает или отсутствие данного элемента, или же весьма малое содержание.

Из характера методики астрофизики вытекает, что отсутствие линий какого-либо элемента не может рассматриваться, как признание отсутствия данного элементарного тела.

[1]) Для солнца см. таблицу XXXVII на стр. 95. Помимо указанных важных элементов надо еще отметить за пределами таблицы Y, Zr, Nb, Mo, Pd, TR.

[2]) Для комет увеличенный значок водорода относится не к чистому элементу, который в кометах стоит под вопросом, а к его соединениям с C

этих атомов на космических телах отвечает в общем теллурическому, и мы в праве думать, что 28 первых элементов Менделеевской системы в общем являются вместе с тем и наиболее распространенными типами атомов в мироздании. И среди них самыми основными, помимо двух — водорода и гелия, из которых, повидимому, создается вся постройка, — являются элементы между 12 и 26 номерами и, в частности, элементы с атомными весами четными или кратными 4. Конечно, в зависимости от преобладания тех или иных физических или физико-химических причин возможно на том или ином космическом теле отсутствие одних и необычайное преобладание других элементарных атомов. Но вообще силы рассеивания и силы притяжения, силы Ньютоновские, Лебедевские, молекулярные и др., взаимно преодолевая друг друга, выравнивают химический состав мироздания. Нет никаких признаков считать химическое равновесие и современное распределение элементов в космосе стационарным; наоборот, все говорит за то, что химические элементы перемещаются, перегруппировываются, по определенным законам сочетаясь в химические соединения и вновь распадаясь. Эволюционный ход развития космических тел и судьба связанных с ними элементов, по всей вероятности, подобно процессам земным, замыкается в процессы более или менее циклические, или, вернее говоря, в процессы вида спирали.

В противоположность идеям Локайера и Морозова мы в изучении общих фактов по космической химии не видим непосредственных данных, говорящих за эволюцию элементов, за распад их ядра и соединение в новые атомные единицы. Помимо мощных явлений ионизации, мы объективно не знаем никаких более серьезных потрясений химических элементов, и их ядро *кажется* неизменным.

И все же с этими представлениями постоянства элементов не мирится современная научная мысль, и в вышеприведенных выводах только что намеченных строк она хочет видеть лишь первое грубое приближение, за которым кроются ускользающие от нас процессы трансмутации. Самые крупные умы нашего времени — Аррениус, Перрен и Нернст почти одновременно становятся на почву этих сомнений, и бесспорно отдельные явления дают им основание для этих идей.

Ниже я рассмотрю подробнее те явления окружающей нас природы, которые говорят за большую сложность химического процесса, чем та, которое была изложена выше. Это будут:

1. Распространение в земной коре процессов естественного радиоактивного распада и вероятность генетической связи между всеми элементами.

2. Искусственное расщепление элементов α-лучами.

3. Многообразие различных излучений в сильно разреженном мировом пространстве.

4. Нахождение на космических телах линий неизвестных элементов, и притом весьма распространенных, небулия и корония.

5. Невозможность объяснить тепло солнца и звезд без принятия процессов выделения внутриатомной энергии.

§ 61. Радиоактивность земли и космических тел (90).

До открытия радиоактивности на земле мы не имели никаких прямых фактов, которые говорили бы о возможности перехода одних элементов в другие: были по этому поводу теории, гипотезы, строились целые стройные схемы, но точное знание с полным основанием отвергало эти схемы. А между тем открытие Кюри-Складовской неожиданно совершенно изменило все наши представления о трансмутации элементов и об источниках энергии на земле.

Нельзя в этих судьбах научной мысли не видеть аналогии с тем, что мы отметили выше в предыдущем § 60. И сейчас, по отношению к космической химии точные факты не дают нам никакого материала для суждения о превращениях элементов в космических телах, но все же в такой оценке мироздания мы склонны видеть лишь временный этап познания природы, одно лишь грубое приближение к познанию истинных процессов.

Радиоактивные вещества распространены в земной коре, хотя и в относительно ничтожных количествах, но их общий баланс в экономике коры весьма значителен, благодаря постоянному выделению внутриатомной энергии в виде излучений. Сейчас мы знаем, что радиоактивные элементы по преимуществу свя-

заны с кислыми гранитными породами, залегающими в верхних частях земной коры, и уменьшаются с глубиною. Уже ультраосновные породы содержат в среднем в 6 раз меньше радия, чем кислые граниты, а еще глубже, на основании некоторых термических вычислений, мы должны думать, что количество радия падает до нуля. Таким образом совокупность всех наблюдений заставляет думать, что распространение радиоактивных элементов ограничивается лишь 30 — 70 клм. поверхностной пленки, а планетезимальная теория пытается объяснить это явление с точки зрения выноса на поверхность из глубин легкоплавких и наиболее богатых радием частей.

Очень мало данных имеем мы о распространении радиоактивных элементов на космических телах. Мы знаем только, и это точно установленный факт, что средняя радиоактивность каменных метеоритов равняется лишь 1/4 земных пород, и что радиоактивность металлических метеоритов практически равна нулю.

Из других космических тел мы знаем только кое-что насчет солнца: уран на нем весьма сомнителен, а линии радия совершенно неизвестны, хотя так часто именно к нему прибегали для объяснения солнечного тепла. Предположен был радий на одной из звезд.

Из элементарных тел, с которыми связан радиоактивный распад, один устойчивый газ г е л и й является действительно одним из важнейших элементов мироздания, как бы косвенно отмечая огромные накопления конечного продукта распада радиоактивных веществ. Гелий наравне с водородом отсутствует лишь в маленьких космических телах, где силы Ньютоновского притяжения не могут удержать его быстро двигающиеся молекулы. Но в крупных космических телах с большою газовою оболочкою гелий всюду присутствует, и линии его говорят об огромной космической роли, которую играет этот газ в мироздании.

Анализ теллурических процессов не позволяет нам думать о том, что явление радиоактивности является чем то исключительным, связанным только с землею. Нет никаких данных думать, что процессы дезинтеграции тяжелых атомов не идут и не могут итти на телах космических.

Совершенно особую группу явлений, связанных частично с радиоактивным распадом, представляют разного рода излучения, природа которых еще не изучена, но часть которых несомненно имеет космическое происхождение. Остается загадочным излучение высоких слоев атмосферы, особенно на высотах в 4—9000 метров. Еще менее ясно происхождение, так называемого, Гессовского излучения — очень жестких Рентгеновских лучей нашего Млечного пути. Природа и этих γ-лучей остается загадочною. Нернст (1921 г.) совершенно правильно отмечает, что мироздание должно быть наполнено разными типами излучения, и что одна из ближайших задач астрофизики изучить их природу.

К этим же, частью совершенно гипотетическим, излучениям прибегает и Перрен в своей знаменитой статье «Matière et Lumière». Он считает, что радиоактивный распад вызван глубинным излучением ультра-икс-лучей, сила которых изменяется с расстоянием. Отсюда и скорость распада для него зависит от ультра-икс-лучей и будет различною на различных светилах. На солнце она очень велика, и практически там распад идет очень быстро, в холодных межпланетных пространствах скорость распада близка к нулю. Для него явления радиоактивности эндотермичны, связаны с огромным поглощением еще несхваченных лучей. Впрочем, и Эйнштейн считает, что скорость распада зависит от поля тяготения, но порядок зависимости совершенно иной, чем по взглядам Перрена.

§ 62. Радиоактивность, как общее свойство материи (91).

Таким образом фактические наблюдения не позволяют исключать радиоактивный распад из мировых космических процессов; к тем же данным приводят и теоретический анализ явлений радиоактивности, и процессы искусственного расщепления элементов.

Хотя только 10 порядковых номеров периодической системы в ее конце (81 - 92) и 2 в начале (19 и 37) заняты радиоактивными самостоятельно расщепляющимися элементарными атомами, тем не менее идея о том, что явления распада представляются общим свойством материи, является общепризнанной всеми хи-

мическими авторитетами. За это говорит и аналогия в изотопии, несомненное сходство атомистического строения всех членов периодической системы, целые числа атомных весов чистых элементов, наконец расщепление более легких нечетных атомов — все определенно указывает, что все атомы построены из первичной материи типа водорода, и что, таким образом, периодичность свойств и вся химическая и физическая характеристика атомов есть закономерный общий процесс. Мы не знаем, являются ли нерадиоактивные элементы активными, но с такою продолжительностью существования, что их распад оказывается нами незамеченным, может быть связанным с излучениями, не схватываемыми нашими приборами (так Hoffmann (1920 г.) думает о распаде Cu). Может быть при наблюдаемых нами условиях этот распад совершенно не идет, при отсутствии какого-либо возбудителя типа тех ультра-икс-лучей, которыми Перрен объясняет процессы радиоактивного распада на земле и в космических телах.

Здесь мы все еще находимся в совершенном неведении, но это не мешает нам представлять генетическую связь всей Менделеевской таблицы.

Нет никакого сомнения в том, что эта идея в значительной степени подкреплена опытами разложения Рёзерфорда. Мы не будем касаться их характера, но отметим, что это расщепление вызывается α-лучами, и ему оказались подверженными лишь нечетные элементы 5, 7, 9, 11, 13, 15 (*B*, *N*, *F*, *Na*, *Al*, P [1]) (92).

Эти нечетные элементы в условиях опыта оказались менее устойчивыми.

Явления радиоактивности нам вообще показали, что большею устойчивостью обладают атомы четные и в частности те, кои построены из гелиевых групп, и что согласно Рёзерфорду «ядро гелия обладает весьма прочной конфигурацией, которая выдерживает интенсивные возмущения, возникающие при его выбрасывании из радиоактивного атома, и что оно является одною из единиц, из которых может быть построено

[1] Наличие в земле α-излучений вызывает аналогичный распад в земных процессах (см. дворики «halos») и выделение свободных водородных ядер (94).

большинство атомов». Еще Sommerfeld отметил, что особенная устойчивость ядра гелия может быть объяснена тем, что при соединении 4 водородов получается масса вместо 4,032 — 3,997; за счет потери массы происходит выделение энергии.

Устойчивость элемента в общем определяется продолжительностью его жизни, а эта последняя связана с его внутренним строением и является результатом определенных скоростей распада (93). Скорость распада при земных наблюдаемых нами условиях постоянна; насколько она неизменна и в космических условиях, сказать трудно, хотя Нернст (1921 г.) подсчитывает, что для влияния на распад требуются температуры в 10^{11} abs., тогда как по Эддингтону максимальные температуры звезд порядка 10^{6} — 10^{7} abs. Земные давления не влияют на скорость распада в условиях эксперимента, но по Эйнштейну гравитационное поле должно сильно влиять. По мнению Иоффе выбрасывание электрона из ядра могло бы вызываться Рентгеновскими лучами с напряжением в 600000 вольт. Перрен широко меняет скорость распада в зависимости от интенсивности ультра-икс-лучей.

Таким образом, на основании радиоактивных явлений, мы можем придти к следующим основным положениям, приложение которых к процессам земли и космоса является одною из величайших проблем нашего времени.

Повидимому, явления радиоактивного распада представляются общими явлениями всех атомов, построенных из одного первичного вещества в форме более или менее устойчивых планетарных систем. Наиболее устойчивыми, вероятно, являются атомы четные и особенно кратные 4, построенные из весьма устойчивых гелиевых групп. Продолжительность жизни отдельных элементарных атомов, вероятно, может служить показателем устойчивости. Скорость распада в условиях земли и лабораторного эксперимента постоянна, но в свете идей Перрена она изменчива в разных частях мироздания.

§ 63. **Тепловой режим космоса и звездных миров** (95).

Необычайно сложную задачу представляет выяснение теплового режима космоса. Совершенно правильно отмечает Нернст, что в его природе и в правильном применении законов термодинамики лежит разгадка основных проблем мироздания. Температурный режим космоса определяет ход химических реакций и физических процессов и этим вызывает то или иное перераспределение химических элементов. Сейчас принято думать, что большая часть космического пространства обладает весьма низкою температурою, близкою к абсолютному нулю, причем Нернст допускает, что сохранение этой низкой температуры вызывается частичным поглощением излучаемого тепла.

С другой стороны наивысшие температуры, согласно мнению Эддингтона, должны наблюдаться в центрах сине-белых звезд и достигать миллионов градусов (10^6 — 10^7 abs). Нернст, Аррениус, Эггерт и другие совершенно определенно показали, что эти температуры не могут влиять на скорость распада известных нам радиоактивных веществ, и что для изменения продолжительности жизни элементов необходимы температуры до 10^{10} — 10^{11} abs. Конечно, это не исключает, что другие виды энергии, напр., излучение или мировое тяготение, могут влиять на распад.

Тепловой режим космических тел лучше всего изучен на одном частном случае, имеющем огромное значение для земли — на солнце. Для этого столь близкого от земли светила мы имеем весьма любопытные подсчеты, сведенные у Пуанкаре и Аррениуса.

При массе в 2.10^{33} грамма солнечное светило ежегодно излучает 4.10^{33} граммкалорий тепла. Для объяснения этих огромных количеств тепловой энергии принимались различные гипотезы: сначала думали о химических процессах окисления или сгорания, о массовом падении метеоритов (Мейер), наконец, согласно мнению Гельмгольца, о нагревании при сжатии. Все эти причины могли бы дать тепла максимум на 30 миллионов лет, каковая цифра отвергается геологами, как слишком малая.

После открытия радия Рёзерфорд, Содди и Вильсон выдвинули идею о радиоактивных процессах на солнце, так как

при распаде урана до свинца на 1 грамм радия выделяется 2.000.0000 калорий. Конечно, эти колоссальные количества тепла могли бы покрыть расход энергии солнца, но только в том случае, если бы радия на солнце было много. Если даже заподозрить, что все солнце из урана (а это не верно), а радий находится с ним в радиоактивном равновесии, то удалось бы покрыть лишь $^{1}/_{3}$ излучения [1]).

Аррениус, на фоне этих идей, выдвигает следующие наиболее вероятные источники энергии 'и его выводы приложимы, очевидно, ко всякой звездной системе:

1. Часть тепла дается благодаря образованию экзотермических соединений или распаду эндотермических; иначе говоря, небольшая часть энергии связана с настоящими химическими процессами.

2. Часть тепла, и притом весьма значительная, должна поступать при воссоединении ионизированных атомов с электронами. Так как диссоциация атомов для звезд и солнца ныне доказана работами Сага и Эддингтона, то несомненно в этом процессе мы имеем мощный источник тепла, который, по расчетам Аррениуса, при допущении полной ионизации атомов всего солнца мог бы дать энергии для 500 миллионов лет свечения.

3. Так как вышеуказанные причины покрывают, очевидно, лишь часть расхода энергии и все же в недостаточной степени, чтобы обусловить существование солнца не менее 3.10^9 лет, то, очевидно, надо искать другой источник (и притом возобновляемый) энергии.

Нернст таковым считает распад более тяжелых радиоактивных атомов, чем № 92, — предположение, которое можно оставить лишь, как догадку, но нельзя ни опровергнуть, ни доказать. Более определенно высказываются Перрен, Эддингтон и Аррениус, которые главный источник энергии видят в синтезе элементов и в частности в конденсации H в ядра He.

В этом процессе они находят главнейший возможный источник тепловых процессов солнца и звезд, тогда как все остальные являются лишь дополнительными.

---

[1]) Перрен, в противоположность этим идеям, считает радиоактивный процесс эндотермическим, связанным с огромным поглощением энергии ультра-икс-лучей.

Космогонические теории и их современное значение (96).

«Старая гипотеза о происхождении мира—это гипотеза Лапласа; но ее старость бодрая и здоровая, для ее возраста на ней еще мало морщин».

Пуанкаре 1911 г.

§ 64. Мы рассмотрели выше фактический материал наблюдений, дали схему химии космоса и выделили в ней область явлений, не укладывающихся в общие рамки схемы и требовавших иных объяснений. Эти объяснения мы пытались искать в явлениях атома, в том сложном комплексе явлений, который ныне объединяется специальными научными течениями, на границе между физикой и химией.

Различны и сложны были пути, по которым пытались выяснить и объяснить происхождение и ход процессов мироздания. Мы далеки здесь от задачи рассмотрения этих путей: мы только выхватили из них те основные течения, которые привели нас к современному мировоззрению.

В космогонических гипотезах мы можем подметить два основных течения: одно, базируясь на законах небесной механики, пыталось выяснить современное строение звездного мира и нашей планетной системы, не касаясь химической природы атома. Второе -наоборот, основывалось на идеях трансмутации химических элементов и непосредственно подводило нас к вопросам химической эволюции и радиоактивного распада. Если первое по большей части занималось механикою планетной системы, второе базировалось на спектроскопии звезд. Но и в первом течении мы невольно находили факты, непосредственно касавшиеся химии элементов, так как, оперируя с физическими величинами, эти гипотезы должны были исходить из определенных удельных весов тел и элементов.

Две основные гипотезы оспаривают сейчас первенство и истину: это, с одной стороны, старая Канто-Лапласовская или небулярная гипотеза, воспринятая с поправками

Пуанкаре, и планетезимальная гипотеза Чэмберлена-Салисбюри, рожденная из глубоких обобщений Дж. Дарвина и получившая свое математическое обоснование в трудах Мультона. К ним в той или иной форме примыкает длинная плеяда гипотез Faye, Jeams, See, Belot и ряда других.

И планетезимальная, и небулярная теории для нас важны тем, что в основу и той и другой положены силы Ньютоновского тяготения, т. е. те силы, которые в космическом масштабе распределяют атомы по их удельным весам. И из той и из другой гипотезы вытекала необходимость сосредоточения тяжелых элементов в центральных частях и легких — снаружи. В теории планетезимальной к этому присоединились еще силы молекулярного движения, частью своими скоростями вызывавшие вынос легких элементов из недостаточно мощных полей тяготения. Наконец, к этим двум причинам в последнее время Лебедев, Аррениус, Эддингтон и др. присоединили световое давление — третью могучую мировую силу, разделяющую молекулы, элементы и их группировки в мироздании на основании характера физических свойств.

Вторая группа гипотез базировалась на идее взаимного превращения элементов, и этим идеям положил начало Локайер и Крукс: последний еще в 1874 г. в речи в Шеффильде стремился показать, что не только одни виды материи переходят в другие, но что энергия и масса материи одно и то же.

Идеи Локайера, вытекавшие из анализа звездных спектров, общеизвестны; для него при повышении температуры идет распад вещества до первичной материи и вновь созидание элементов при охлаждении. Поэтому на очень горячих космических телах он видел одни только газы, протоводород [1]), далее к ним присоединялся гелий и еще далее, при охлаждении «протометаллы», потом C, N, O и Si, наконец, постепенно появляются сами металлы, а водород и протоэлементы исчезают. Схема звездной эволюции отвечала схеме эволюции химических элементов.

В сущности это были уже старые идеи Крукса, этого мистика-философа, который еще в 1886 г. рисовал фан-

[1]) Элементы Локайера с приставкой «прото» являются просто ионизированными газами. См. выше, §§ 50, 51.

тастические картины генезиса элементов путем конденсации в космической туманности легких элементов в более тяжелые атомы.

Однако, как ни велико было значение схемы Локайера, как ни увлекательны были те горизонты, которые раскрывались в ее стройной картине, тем не менее она долгое время оставалась только гипотезою, а ныне в свете идей индийца Сага, оказывается, не отвечает наблюдениям. Вся смена линий в спектрах звезд оказалась вызванною правда теми-же физическими причинами, что и в схеме Локайера, но ее химическая основа оказалась подорванною, и постоянство и неизменность ядра атома вновь оказались не нарушенными.

Между тем целый ряд явлений, отмеченных мною выше в § 60, в действительности не укладывались в столь простую схему отрицания всяких генетических явлений в атомах, и, признавая, что факты говорят о постоянстве и однородности химического состава мироздания, тем не менее ряд крупнейших химиков и физиков последнего времени пытались осветить эту основную проблему. Среди них мы упомянем имена Перрена, Нернста, Аррениуса и Мейтнер, к краткому изложению идей которых мы и переходим.

Впервые глубокий анализ мировых химических процессов был дан Перреном (1919—1922 гг.). Признавая невозможность самопроизвольного распада радиоактивного вещества, Перрен приписывает его излучению ультра-икс-лучей, которые выделяются при процессе конденсации водорода и гелия в более тяжелые атомы. Этот процесс интеграции элементов происходит и на звездах, и в центральных частях земли. Образование тяжелых элементов нормально идет с огромным выделением тепла, причем впервые Перрен мировое тепло звезд и нашего солнца пытался связать с колоссальным выделением энергии при конденсации четырех водородов в гелиогруппу. При этом происходит потеря на 1 гр. соединения 32 миллиграмма материи, что отвечает 7.10^{11} малых калорий тепла. Позднее по этому пути пошли в объяснении тепла солнца Астон (1922 г.) и Аррениус (1922 г.). Таким образом Перрен становится определенно на точку зрения синтеза элементов с выделением лучей, вызывающих их-же распад, а в космогонии выдвигает идею

образования звезд из туманностей с образованием в первичной стадии H, He и Neb (с атомным весом 3).

Нет никакого сомнения, что огромный научный авторитет Перрена говорит за строгую научность тех смелых выводов, которые он делает; однако, весьма вероятно, что не вся Менделеевская таблица в одинаковой мере реагирует на указанные им деятели, и остается по-прежнему не исключенным, что радиоактивный распад с видимым выделением энергии возможен лишь для особо тяжелых групп, содержащих в себе водородные частицы, и что распад гелия на водородные атомы возможен лишь при приложении мощного источника энергии.

На близкой точке зрения стоит и Аррениус. Для него несомненно, что внутреннее тепло солнца и звезд нельзя объяснить без принятия каких-либо особых предположений, вытекающих из рамок обычных наших представлений. Подробно разбирая природу солнечного тепла (см. § 63), он последовательно отвергает старые гипотезы и доказывает недостаточность принятия и сильно экзотермических реакций, и воссоединения элементов ионизированных с электронами. Таким образом остается единственное объяснение, что выделение тепла вызывается конденсацией четырех водородов в группы гелия, тем более, что такой процесс мог бы обеспечить современный тепловой режим солнца на 87 миллиардов лет.

По мнению Аррениуса, звезды образуются из туманностей, причем сначала возникают H, He и Neb (небулии с атомным весом около 3); далее начинается образование N, O, Mg, Si, позднее Ca, Ti, Fe. В начале туманности холодные, с температурами, близкими к абсолютному нулю, чем и объясняется сохранение легких летучих газов в пределах туманности, светящейся благодаря электрическим разрядам в сильно разряженной среде. Далее начинается сильно экзотермический процесс образования более тяжелых элементов, атомы диссоциируют, исчезают He и Neb. Равновесие системы поддерживается соотношением сил светового давления и Ньютоновских сил притяжения. Температура повышается, звезды великаны превращаются в карлики, после того рост температуры останавливается: твердые частицы, окружающие гиганты, мало-по-малу стягиваются к поверхности постепенно охлаждающейся звезды. В этой космогонии мы не

видим никаких новых точек зрения; идеи Перрена комбинируются со старыми мыслями Локайера: круг превращений вновь начинается после столкновения погасших звезд и превращения их снова в туманности.

К Аррениусу очень близко примыкает и Мейтнер, дающая в большой обзорной статье сводку радиоактивности космоса; однако, никаких новых фактов она не приводит.

Несомненно самою блестящею и неожиданною по смелости является концепция Нернста (1921 г.). Концепция эта — новая широкая попытка поставить в основу космических процессов явления радиоактивного распада. Нернст смелее своих предшественников, и во многих вопросах его мысль залетает далеко за пределы завоеваний точного знания.

Основные идеи Нернста[1]) следующие: Идея о постепенной эволюции мироздания согласно идеям энтропии должна быть ныне заменена идеей стационарного состояния. Хотя эта мысль отвергается рядом исследований, в том числе Norke (97), но все же она заслуживает внимания, хотя правильнее было бы заменить стационарное состояние Нернста постоянным циклическим процессом. Одни звезды гаснут, зажигаются другие, мир живет во времени, сочетая массу и энергию в единый элемент мироздания: потеря в массе равна потере во времени, деленной на квадрат световой скорости — такова его основная формула, взятая у Эйнштейна. Все видимое нами мироздание подчинено законам радиоактивного распада материи; огромные космические температуры вызваны не синтезом элементов, а просто температурною кривою процесса радиоактивных превращений. Ни одно из космических явлений в известных нам мощностях и с известными нам коэффициентами не может повлиять на скорость распада: он идет неизменно во всем мироздании, вызывая и нисходящую, и восходящую ветку звездной эволюции. В этом мы видим резкое отличие от концепции Аррениуса, относящего главную часть температурных повышений звезд не к радиоактивному распаду, а к еще более экзотермическому процессу — синтезу гелиевых групп. Нернст в мироздании не видит этого синтеза, он при-

[1]) Некоторые интересные выкладки см. в примечании (98).

знает его существование, но не может определить формы и место интеграции атомов. Чувствуя, что в своих подсчетах ему не хватает тепла для покрытия звездного и солнечного процесса, и, вместе с тем, не допуская интеграции элементов в качестве более могучего источника тепла, Нернст принужден прибегнуть к новому допущению: что в космических телах имеются еще более тяжелые атомы, чем уран, еще более мощные радиоактивные системы, стоящие за № 92.

Эта смелая гипотеза не находит себе поддержки ни у Аррениуса, ни у Эмдена с его блестящим анализом звездных процессов.

Для Нернста конечный продукт распада элементов — это наполняющий космос, наделенный запасами энергии, световой эфир, из которого время от времени, в качестве огромной случайности, на основе кинетической теории газов, возникают новые сочетания, т. е. создаются более тяжелые атомы — химические элементы нашей периодической системы. Вместе с Эддингтоном он принимает огромное значение светового давления и, принимая средний атомный вес газового скопления в 3,2, что отвечает весу паров сильно ионизированного железа, он видит космический процесс, с одной стороны, в различии соотношений между Ньютоновскими силами притяжения и силами отталкивающими светового и газового давления, с другой — в постепенном и неуклонном течении радиоактивного распада, которому подчинена, по его мнению, вся периодическая система. Излучаемая тепловая энергия поглощается световым эфиром, превращаясь в ту энергию, которая свойственна ему еще при абсолютном нуле.

Новая концепция химии космоса.

§ 65. Мы можем сейчас подвести некоторые итоги и среди различных намеченных нами путей выбрать тот, который наиболее отвечает фактам.

Я уже указывал выше, что мы еще не доросли до познания химии космоса, мы только нащупываем пути и ищем выводов.

Мы видим сейчас, что доступный нашему изучению космос составлен из одних и тех же элементарных построек — плане-

тарных электрических систем, кои мы называем атомами и разнообразие коих и составляет нашу периодическую систему Менделеева. Мы в праве думать, что подавляющая часть космоса составлена именно из этих атомов вместе с еще двумя, природа которых нам не ясна, — небулием и коронием. Силы мирового тяготения, светового давления и молекулярных движений являются в первую очередь теми притягивающими и отталкивающими силами, которые распределяют и перераспределяют элементы в мировых пространствах. В общем мы можем думать, что элементы распределены в мироздании более или менее равномерно. Количество атомов различных элементарных тел различно; мы в праве думать, что и тяжелых атомов, начиная с 28-го номера, и самых легких до 8—9 вообще в мироздании меньше, что мы имеем определенное космическое явление преобладания элементов от 11 до 28, может быть еще *H* и *He* (99).

В первом приближении, в глубоком подходе современной астрохимии мы были склонны считать, что элементы наполняют собою мировое пространство, сохраняя в целости свои положительные ядра. Однако, современные идеи заставляют нас думать, что элементы космоса испытывают превращения, подчиняясь строго определенным мировым законам. Создание элементов и их радиоактивный распад должны рассматриваться, как два противоположных процесса, взаимно уравновешивающие друг друга согласно законам физикохимического равновесия. Преобладание определенных элементов — есть лишь проявление статистического подсчета: как бы мы ни представляли себе эволюцию атома и соотношение рядов распада и созидания, преобладание в определенный момент определенных элементарных построек есть результат того же статистического закона, который регулирует, напр., распад радиоактивного вещества и в смеси продуктов распада обнаруживает ничтожное количество одних членов и огромное преобладание других.

Часть мирового процесса от спиральных туманностей до белых звезд рисуется нам в свете по преимуществу явлений создания более тяжелых атомов: группировка *H* в гелий и сочетание гелио-групп вместе являются источником огромных нагреваний, конденсации материи, накопления более тяжелых атомов. Этот синтез является вместе с тем и источником радиоактивного

распада, если мы встанем на точку зрения **Перрена**. После преобладания формирования тяжелых атомов наступает сначала равновесие между созиданием и распадом; затем начинается стадия белых звезд, начинает преобладать распад радиоактивных тяжелых элементов; этот процесс в значительной части идет тоже с выделением тепла и, таким образом, задерживает темп охлаждения.

Мы сталкиваемся здесь неожиданно с проблемою, на которую не обратил внимания ни **Нернст**, ни **Аррениус**[1]): и созидание, и распад в известных частях своих идут с выделением энергии; одни с одинаковым правом на первом строят восходящую кривую эволюции элементов, другие — на втором. Очевидно, что не всякий синтез и не всякий распад на первичные элементы мы можем рассматривать, как источник мировых процессов выделения энергии. Синтез гелиевых групп из водорода идет для нас с огромным выделением тепла, превосходящим даже тепло, выделяемое металлами группы радия. Получаемые из этого синтеза сочетания оказываются необычайно прочными, возникающими с колоссальными выделениями энергии образованиями, трудно разрушаемыми в свете природных явлений распада. Эти атомы, построенные только из гелиогрупп, должны обладать атомными весами, кратными 4. Мы подходим к первому, уже подробно разобранному нами закону: **наибольшей распространенности и устойчивости атомов кратных 4**, He, C, O, Mg, Si, S, Ca, Ti, Cr, Fe, отчасти Ni. Разве, перефразируя слова **Канта**, мы не можем сказать: дайте нам легкие элементы, кратные 4, и мы построим из них мир, мир правда неорганизованной природы, мир без жизни.

Мы остановились на железе, кобальте, никеле; дальше за 28-ым номером начинается новый мир химических элементов, не только в космосе за третьим горизонтальным рядом Менделеевской таблицы начинается мир маловажных редких атомов мироздания, но и в самой структуре этих элементов физик находит резкое изменение скачком основных свойств (Д. **Рождественский, Гаркинс**).

[1]) При принятии взгляда Перрена этот вопрос не возникает, так как для него радиоактивный процесс — эндотермичен.

Мы не продолжаем дальше за железо наше перечисление, так как для нас и элементы с атомными весами, кратными 4, за пределами этого элемента кажутся слишком сложными постройками, чтобы их считать простыми устойчивыми группировками гелиогрупп.

Что именно вышеуказанные элементарные группировки являются наиболее устойчивыми и заключают в себе меньше энергии, вытекает и из анализа заключенных между ними элементов B, F, N, Al, P, искусственное расщепление коих происходит с большим выделением энергии; правда, мы не знаем, во что они превращаются, но, очевидно отделение водорода приводит их к более устойчивым группировкам, типа четных элементарных тел.

Все элементы, следующие в нижней половине Менделеевской таблицы, и в том числе радиоактивные, являются сложными элементарными постройками, с большими внутренними запасами энергии и способные частично самопроизвольно выделять эту энергию путем излучения и превращения в более легкие элементы.

Эти тела не могут рассматриваться, как устойчивые атомы мироздания: в процессах мировых превращений и они должны стремиться превратиться в те группировки, кои мы выше признали наиболее устойчивыми.

Таким образом, исходя из современных знаний энергетики атома, мы склонны думать, что в Менделеевской таблице последовательность сверху вниз не определяет увеличения внутриатомной энергии. Наоборот, есть основание думать, что наименьшими запасами ее обладают более легкие элементы, но построенные по типу гелия из немногих гелиевых групп, т. е. элементы четные и кратные 4 в пределах номеров 4—28.

Этими законами определяется и основной ход мировой эволюции химических элементов, накапливающих в мироздании совершенно определенные члены периодической таблицы. Этим разрешается загадка о том поразительном преобладании в космосе Mg, Si и особенно Fe, о котором Нернст говорил, «что это какой то пункт отдыха атомов в их постоянном процессе деградации».

Но мы не только установили выше один космохимический закон об определенной распространенности некоторых элементов в мироздании; мы видели еще вторую законность, по которой наиболее устойчивые элементы космоса (именно из выше перечисленной группы) преобладают в центральных частях космических тел, в обстановке наибольших давлений и температур, тогда как в наружных частях больших космических тел к ним присоединяются элементы менее устойчивые, построенные по типу 4q + 3, по большей части, однако, тоже легкие (т. е. не выше 28-го номера). В земной коре мы эту законность подметили с полною очевидностью.

Причины большого содержания в наружных частях нечетных легких элементов типа 4q + 3 лежат, очевидно, с одной стороны в физических законах распределения вещества в космосе, т. е. прежде всего в силах Ньютоновских и силах светового давления. Однако, этим не может быть объяснено накопление здесь как раз нечетных групп и особенно групп 4q + 3. В свете идей Перрена мы имеем, однако, разгадку этого явления: части центральные планетных и звездных тел быстрее достигают максимального равновесия под влиянием тех процессов излучения, которые им свойственны. В наружных частях мы еще имеем недостигшие равновесия системы и среди них радиоактивные образования. Как раз в этих телах менее устойчивой группировки, может быть подобно K и Rb, обладающих известными способностями к излучению, мы находим ряд наших химических элементов органической жизни — N, F, Na, Al, P, Cl, K.

§ 66. Итак, из этой главы, рассматривающей основные проблемы химии космоса, мы можем сделать следующие выводы:

1. Космос построен по преимуществу из тех же 92 элементов, которые известны и на Земле.

2. В космических телах, повидимому, как и на Земле, преобладают элементы четные, построенные по типу 4q, порядковых номеров от 6 по 28.

3. За 28-м номером следует резкое уменьшение распространенности химических элементов, связанное с изменением скачком некоторых свойств этих элементов и строения атома.

4. Преобладание элементов от 6 до 28 может быть объяснено их наибольшею устойчивостью, т. е. меньшими запасами внутри-атомной энергии.

5. Менее устойчивые группировки легких элементов типа 4 q + 3 по преимуществу сосредоточены в наружных частях космических тел, тогда как во внутренних мы видим преобладание элементов типа 4 q (номера 20 — 28).

6. Необходимо думать, что в известных стадиях космической эволюции идет синтез более тяжелых элементов, по преимуществу построенных по типу 4 q (из гелиевых групп) и выделяющих при этом огромную тепловую энергию.

7. Дальнейшая эволюция звездных миров, вероятно, может быть связана с ослаблением процесса образования более тяжелых атомов и постепенным распадом этих элементов вплоть до тех же элементов 6 — 28.

8. Придавая в химии космоса огромное значение атомам номеров до 28, кратным 4, а именно, помимо двух основных элементов H и He, — C, O, Mg, Si, S, Ca, Ti, Cr, Fe и Ni, я склонен эти 12 элементов называть основными элементами космоса.

9. Преобладание основных элементов мироздания не может быть рассматриваемо, как случайное явление, но представляется, как результат статистических соотношений между отдельными атомами в их процессах преобразования.

10. Относительные количества отдельных атомов в мироздании определяются статистическими законами, очевидно, аналогичными законам радиоактивного равновесия.

11. Вопрос о том, изменяются ли эти соотношения во времени и имеет ли циклический процесс преобразования атомов определенное поступательное движение не может быть разрешен в настоящее время, но несомненно, что общий ход процессов мироздания должен определяться законом энтропии.

12. Перераспределение элементов в мироздании подчиняется ряду законностей и в своей основе связано с физическими свойствами ядра атома.

13. Основные проблемы химии космоса при современных наших знаниях не могут быть решены, они могут быть только поставлены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

«Меняются созвездия, рождаются и умирают звезды, материя и энергия меняют место и форму, но в целом вселенная неизменна и остается таковою в течение неизмеримого времени».

Арренус. 1920 г.

Заключение может быть кратким. Наши знания по химии космоса лишь сейчас начинают сливаться в отрывки общей картины. Никакая стройная и научно обоснованная теория еще не может быть построена. Мы находимся лишь в периоде постановки вопросов, но не их разрешения.

Сейчас важна правильная формулировка проблемы и нащупывание путей для их разрешения. Мы сейчас даже не можем сказать, что вехи поставлены: для них заготовлен только сырой материал. Но и здесь, на этом первоначальном пути намечаются некоторые основные идеи. Проблемы химии космоса не могут быть разрешены силами одной науки; лишь дополняя друг друга и предъявляя свои запросы к другой дисциплине, их разрешат согласованные исследования астрофизики, геологии, геохимии, геофизики, химии и особенно физических наук.

Изучение элементов мироздания сливается в единую общую проблему космохимии, новой нарождающейся отрасли химических дисциплин. Но познание химии космоса зависит от успехов изучения физической обстановки космических миров. В интервале температур — от близких к абсолютному нулю до миллионов градусов, в интервале давлений от крайних разряжений, превышающих наши Рентгеновские трубки (100), до давлений в миллионы атмосфер, в незнакомой нам обстановке различных электромагнитных полей, полей тяготения и полей излучения—

атом химического элемента, сохраняя свои статистические законы распада и, вероятно, синтеза ядра, является основным объектом познания космохимии.

Его судьбы в мироздании являются судьбами и всего космоса на сложных путях космической истории (101).

Примечания и литературные ссылки.

В виду важности и необработанности некоторых вопросов, помещаю ниже ряд примечаний и, главным образом, важнейших литературных цитат. Издания, мне недоступные, отмечены звездочкой *.

1) Настоящий очерк в первой своей части является одной из глав той новой научной дисциплины, которая в настоящее время выросла из недр старой минералогии и получила наименование геохимии, т. е. науки о химических элементах земной коры и земли в ее целом. Главное развитие и основные успехи в этом направлении были достигнуты в Северной Америке (F. Clarke, H. Washington и др.) и в России, где академик В. Вернадский выдвинул совершенно независимое течение геохимического изучения земной коры. Связь геохимии с астрофизикой до сих пор почти не существовала и, к сожалению, в большинстве случаев ограничивалась лишь областью космогонических идей общего характера. Широкое и планомерное изучение химии вселенной несомненно выдвинет необходимость выделения космохимии, а рамки геохимии раздвинет, включив в ее изучение и химию центральных частей земли. Однако, до этих результатов еще далеко, и пока приходится ограничиваться лишь формальной сводкой, даваемой в настоящем очерке, и лишь в конце попытаться наметить вехи к объяснению наблюдаемых нами явлений.

Некоторые общие проблемы химии мироздания см. E. Baur. Chemische Kosmographie. Münch. u. Berl. 1903. W. Nernst. Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung. Berl. 1921. Sv. Arrhenius. Physik. chem. Gesetzmässigkeit. bei den kosmisch-chemischen Vorgängen. Zeit. f. Electroch. 1922. XXVIII. p. 405. J. Perrin. Отдельные работы за период 1919 – 1921 гг. в Annales de Physique. Сводка: J. Perrin. Radiation a. chemistry. Trans. Faraday Soc. 1922. XVII. См. также мои работы, сведенные в примечании на стр. 6.

К этим основным работам мне придется неоднократно обращаться в последних главах настоящего труда.

2) Точное определение земной коры и ее физических особенностей см. В. Вернадский. История минералов земной коры. I, 1 p. 25 1923 Петр. (в печати, изд. Научн. Хим.-Техн. Изд.). Величина земного радиуса 6377 — 6356 клм. Глубочайшая скважина в Силезии 2239,72 м. что отвечает только 1/2847 или 1/2838 земного радиуса.

3) До 1923 г. считалось неизвестных 5 элементов: в 1923 г. № 72 был открыт Hevesy и Coster'ом в цирконах и циркониевых минералах Норвегии. G. v. Hevesy. Письма в журнале «Nature». Январь—Март 1923 г. См. также G. v. Hevesy. Naturwissenschaften. 23 Febr. 1923 p. 133. Элемент — гафний (Ha) оказался аналогом группы циркония, занял место в периодической таблице перед танталом и заставил все редкие земли от № 57 по № 71 поместиться в одной клетке под Y и Sn. Любопытно то, что из 5 неизвестных это был единственный четный элемент, и он первым оказался открытым. Harkins (1920 г.) подчеркивал, что неизвестные элементы по преимуществу нечетные, что связано с их малою устойчивостью, вероятною радиоактивностью и недолговечностью (половины их жизни). По Coster'у содержание Ha в земной коре больше 2.10 -5.

4) Определение понятия о химическом элементе см. F. Paneth. Zeitsch. f. phys. Chemie. 1916. 91. 171. Сводка о строении материи K. Fajans. Radioactivität u. die neue Entwickelung der Lehre v. den chem. Elementen. Braunschw. IV Aufl. Л. Чугаев. Природа и происхождение элементов. 1923. стр. 102 (Научн. Хим.-Техн. Изд.).

5). См. K. Fajans. Radioactivit. u. die neue Entwickel. d. Elementen. Braunschw. IV Aufl. 1922. Aston. The Isotopes. Lond. 1922. (Имеются русский, французский и немецкий переводы). Сводку работ Рёзерфорда см Э. Рёзерфорд. Строение атома и искусственное разложение элементов. Москва. 1923. (Госиздат.). A. v. den Brock. Das allgemeine System der Isotopen. Phys. Zeit. 1921. XXII. 164. Cp. Loewinson-Lessing Compt. Rend. 1923. 176. p. 307 (о соотношении порядковых номеров и атомных весов).

6) В этом ряде еще заподозрены UZ I и UZ II. В последних работах Hahn утверждает существование первого вида элемента.

7) Вопрос еще не получил полного разрешения, и число изотопов по мере усложнения и утоньшения методики увеличивается. Весьма вероятно, что имеется ряд изотопов, примешанных к элементам в ничтожных количествах. Новейшие теоретические соображения, особенно С. А. Щукарева, выдвигают весьма большое число изотопов, может быть не меньшее 300.

8) Надо иметь в виду, что U_I и U_{II} не отделены друг от друга, но количество второго настолько незначительно, что атомный вес практически отвечает основному U_I.

9) По этому интересному вопросу см. Richards. Zeit. f. anorg. Chemie. 1914. 88. 429. Batten a. Thorwaldson. Journ. Am. Chem. Soc. 1911. 33. 337. Curie. Compt. Rend. Paris. Gleditsch et Samdahl. Compt. Rend. 1922. Mars 13 (см. Nature. Lond. 1922. 456). Th. Dillon Proceed. R. Dublin Soc. 1922. XVII. 53. A. D. Monro. Journ. Chem. Soc. L. 1921. 121. 986. См. некоторые замечания у: Э. Шпольский. Успехи физических наук. II, 2. 1921. Москва, стр. 256. Сводка старых данных см. C. Schmidt. Das Period. System d. chem. Elemente. Leipz. 1917. p. 65—66. О методах искусственного разделения изотопов помимо выше цитиро-

ванных работ Batten, Thorwaldson'a и Harkins'a: A. Pinkus Journ. de physique et de chimie. 1921. XIX. 336 с литературой; G. v. Hevesy. Ueber die Trennung der Isotopen. Oesterr. Chem. Zeit. 1922. XXV. 80—82. F. Aston. Separat. of Isotopen. Nature. 1921. **107**. 334 F. Aston. Philosoph. Magaz. 1922. **43**. 31. A. Egerton a. W. Lee. Proc. Roy. Soc. A. v. 103. 1923. p. 499 (цинк).

В общем сейчас на основании экспериментального материала намечается несколько путей для отделения изотопов:

1. Фракционированная перегонка.
2. Диффузия через пористые перегородки.
3. Разделение при помощи радиевых индикаторов.

Первые два способа должны частично осуществляться и в земной коре, где особенно второй метод в сущности используется природой в огромном масштабе при фильтрации растворов по капиллярам и ультракапиллярам. Первый мог бы наблюдаться на ртути в месторождениях, где мы имеем несомненные явления возгонки (напр., Monte Amiata); впрочем Bronstedt и Hevesy (Zeit. f. anorg. Chemie. 1922. **124**. p. 24) этих различий не обнаружили.

Во всяком случае, даже если мы должны будем признать, что при первичном своем зарождении (т. е. до начала геологических процессов) мы уже в готовом виде имели закономерные или постоянные смеси изотопов, то все же при дальнейших геологических и геохимических явлениях эти смеси могли бы обнаружить известное различие в составе. Поэтому, несмотря на кажущееся отрицательное решение этого вопроса, я считал бы целесообразным продолжать изучение атомных весов из различных минеральных тел, связанных с различными условиями генезиса.

Интересна и другая сторона в этом вопросе: если известно более трех изотопов, то относительное содержание в смеси каждого из них является неопределенным. Некоторую попытку в этом направлении делает Dembster (Nature. 1922. Февр., p. 1[illegible]), считая, что для изотопов Cl мы имеем определенное соотношение, см. прим. (22).

10) О среднем содержании радиоактивных элементов в породах см. A. Holmes. The Age of the Earth. 1913. p. 130. (Содержание радия в 10^{-12} и тория в 10^{-5} на 1 грамм породы (в процентах — на 10^{2} больше).

		Кисл. пор.	Средние.	Основн.	Ультраосн.
Среднее из разных авторов	радия	2,63	1,28	0,66	0,50
		3,01	2,57	1,28	
По Joly	тория	2,05	1,64	0,56	

	Изверж. пор.	Осадочн.	Метаморф.	Глубоков. ос.
Содержание Ra (в 10^{-12})	2,5	1,5	2,0	5,0
Содержание Th (в 10^{-5})	2,0	1,0	1,5	

От этих цифр не трудно перейти к содержанию урана: надо лишь разделить все цифры на $3,4.10^{-7}$, т. е. цифры будут выражаться $0, X.10^{-5}$, где X будет в среднем около 5 ($= 5.10^{-6}$). Russel (Nature. 1921. Окт. 27) считает среднее содержание урана — 7.10^{-6} для всей земной коры, а в процентах 7.10^{-4}), что близко к нашим подсчетам. Для тория среднее процентное содержание $1,5.10^{-3}$, т. е. содержание тория вдвое больше, чем урана.

См. литературу: Pool. Phil. Magaz. 1915. **23.** 483. А. Герасимов. Роль радия в динамике земной коры. Изв. Геол. Ком. 1922. LX. 43. G. Craig. The terrestrial distribut. of the radioelements a. the origin of the Earth. Nature. 1913. **92.** 29—30. H. Geitel. Die Radioactiv. der Erde. Handb. d. Radiologie. 1920. I.

11) Литература весьма значительна: привожу лишь главнейшие сводные работы; F. Clarke. Philos. Soc. Wash. 1889. 11. F. Clarke. Chem. News. 1890. LXI. p. 31 (общие взгляды). F. Clarke. Bull. Geol. Survey. W. 1891. № 78. 34; 1897. № 148. 13. I. Vogt. Zeitsch. f. prakt. Geologie. 1898 225, 314, 377, 413; 1899. 10, 274; 1906. 223. В. Вернадский. Опыт описат. минер. Спб. 1908. 1 (1). 121—125. А. Ферсман. Изв. Акад. Наук 1912. 367. F. Clarke. Data of Geochemistry. Bull. Un. St. Geol. Survey. 1920. (4 Edit.). № 695. 12—41. H. Washington. Chem. of the earth's crust. Journ. Frankl. Instit. 1920. 757—813. (Перепеч. в Annual. Rep. Smithson Inst. Wash. 1920 (1922) p. 269). В. Вернадский. История минералов в земной коре. 1922. 1. Петр. 36—53 (в печати; изд. Научн. Хим.-Техн. Изд.). F. Clarke a. H. Washington. Proceed. Nat. Acad. Sc. 1922. VIII. 108. (Average chem. compos. of ign. rocks) — доступна лишь по реферату. Очень любопытные подсчеты и соображения приведены в статье P. Niggli Das Magma u. seine Producte. Naturwissenschaften. 1921. IX. 463—471. См. Th. Cook. Nature. 1922. **110.** 253. F. Clarke. The relat. abund. of sev. metallic. elements. Journ. Wash. Acad. Sc. 1914. IV. 58—61.

Идея расчета не по весовым, а по объемным отношениям впервые была выдвинута мною в 1912 г., позднее в работах Niggli и Harkins'a эта форма пересчетов оказалась наиболее правильною и вошла в обиход научной мысли.

12) Настоящий состав может быть принят только для нижних слоев атмосферы, причем A. Wegener (Zeit. f. anorg. Chemie. 1912. 75. 107) дает такие данные: H_2 — 0,0033; He — 0,0005; H_2O — 0,4; Ne — 0,0015; N_2 — 78,06; O_2 — 20,90; A — 0,937; CO_2 — 0,029; O_3 — следы; Kr — 0,0001; Xe — 0,000005. С высотою состав сильно меняется; поэтому приведенная в тексте таблица состава атмосферы не является среднею. Ср. L. Vegard. Phys. Zeit. 1913. XIV. 677.

13) В таблицу включено лишь 10 элементов из 31, известных нам в составе морских вод. См. В. Вернадский. Живое вещество в химии моря. 1923. Петр. (Научн. Хим.-Техн. Изд.). Остающиеся до 100 0,005% должны быть отнесены на долю остальных 21 элемента и в первую очередь азота, кремния и железа.

14) В этой таблице, повидимому, самым точным является последний столбец, полученный Вашингтоном (l. c. 1920. 773) путем внимательного просмотра 8602 анализов горных пород, из которых были приняты во внимание лишь 5179 вполне достоверных анализа. Весьма интересные поправки вносит в эту таблицу M. Dumas (Bull. soc. minéral. France 1922. XLV. № 6, p. 129), который устанавливает на оснований уравнений соотношение между глинистыми породами, песчаниками и известняками: 92 — 4; 5 — 1; 3 — 1.

15) Таблица Вашингтона составляет последнее слово наших знаний в этой области и основана на ряде специальных анализов химиков Американского Геологического Комитета.

Очень любопытные замечания по поводу этой таблицы делает Cook, (Nature. 1922. **110.** p. 253), реферируя статью Clarke и Washington'a, объединивших свои результаты. При этом последний столбец остался без больших изменений, кроме следующих: хлор понижен с 0,056 до 0,048; очень сильно понижен фтор с 0,078 до 0,030; вставлены редкие земли (Ce, Y_2O_3) — 0,020, CuO — 0,01, Zn — 0,04 и Pb — 0,002 (см. В. Вернадский. История минералов земной коры I. 1. 1922, p. 48).

Cook, разбирая получение средних цифр, подчеркивает, что в своих расчетах Вашингтон и Кларк исходили из распространения в глубину гранитов до 8 клм., а дальше принимали базальты со средним содержанием SiO_2 — 48%. Cook подчеркивает, что под океанами совсем нет гранитной зоны, а, повидимому, непосредственно начинается базальтовая постель, в виду чего средняя порода должна быть гораздо менее кислой и содержать не свыше 50 — 55% SiO_2. Такой состав уже не отвечает больше гранодиориту, а типу габбро. Cp. Loewinson-Lessing. Miner. Magaz. 1911. VIII. 248 — 257, 289 — 297.

16) В таблице Кларка звездочкою отмечены те элементы, числа которых он считал слишком высокими, однако, мы видим, что в общем они на немного отличаются от цифр Вашингтона (кроме только С). В общем с таблицей Вашингтона согласие большое. Кларк на основании новых анализов дает еще цифры: Cu — 0,01; Zn — 0,004; Pb — 0,002. Эти цифры значительно больше, чем у Вашингтона, в 10 раз, но они, повидимому, весьма вероятны и должны быть приняты.

17) В столбце 5 даны мною принятые на расчисление столбца 7 цифры. Весь столбец 7 мною вычислен из столбца 4; те цифры, которые мною на основании новых данных получены и отличаются от старых, помещены в столбце 5.

Основания следующие:

C — понижен в связи с выяснившимся понижением CO_2 в свежих породах.

Ba — оставлен старым, несмотря на уднижение у Кларка. Вашингтон считает меньшую цифру правильной.

Sr — повышен согласно мнению Кларка и Вашингтона

F — вдвое повышен согласно мнению Вашингтона.

Li — согласно и Клэрку, и Вашингтону понижен вдвое.
B — согласно Вашингтону должен быть понижен в 100 раз. Условно считаю на основании ряда соображений возможным понизить лишь в 10 раз.

V, Cr, Ni — последние работы американской школы совершенно определенно заставляют повысить вдвое эти элементы.

Кроме того в мой пересчет включены Be и Cu.

Be — сохранено в старом виде: весовое 0,005 и объемное 0,0005.
Cu — беру наиболее вероятное число между Клэрком и Вашингтоном: весовое 0,005 и объемное 0,02.

Вообще таблица VI представляет сводку последних наших сведений о составе земной коры. В ней особенное значение я приписываю столбцу 6 и 7, представляющему проценты числа атомов: эти цифры получены путем деления соответственных столбцов весовых процентов (т. е. для 6 столбца — 4 и для 7 столбца — 5) на атомные веса. В некоторых отношениях эти цифры указывают и на объемные соотношения в количествах отдельных элементов.

18) Таблица составлена по 5 столбцу таблицы VI и по таблице V Вашингтона. Частично мною сделаны некоторые изменения, причем условно в обозначениях Вашингтона значек x заменен цифрою пять, что конечно усиливает схематичность таблицы. По сравнению с цифрами Вашингтона некоторые элементы низших декад повышены. Приняты во внимание и последние подсчеты В. Вернадского. История минералов земной коры. I, 1. 1923.

19) Выделены только первые пять декад, так как относительно остальных у нас нет достаточно положительных данных. Таблица представляет лишь переработку столбца 7 таблицы VI.

20. В таблицах VI и VII вставлен и гафний на основании следующих соображений. Гафний встречается в циркониевых минералах, образуя 5—10% циркония. Даже, если для осторожности принять только 1% от циркония, то цифру содержания последнего — 0,03 надо уменьшить в 100 раз — 1.10^{-4}, иначе говоря $x.10^{-4}$ по весу. Принимая высокий атомный вес гафния, мы получаем $x.10^{-5}$ по объему. Это цифры минимальные, если только данные работы Hevesy начала 1923 г. правильны. См. примечание (3).

21 Изотопическим числом называется: P — 2M, т. е. разность между атомным весом и удвоенным порядковым числом (Мозелеево число). Изотопические числа до 28 элемента выражаются небольшими величинами, далее начинают быстро расти.

Значение изотопического числа для характеристики элементов отмечалось очень многими. Harkins. Zeitsch. f. anorg. Chemie. 1916. 95. 20. F. Kirchoff. Das Periodische System der Elemente im Lichte der Theorie d. radioactiv. Zerstor. Zeit. f. phys. Chemie. 1920. 94. 257. Harkins. Nature. Lond. 1921. 14 Апр.

См. примечание (61).

22) Подробнее эти расчеты см. А. Ферсман. Об одной закономерности распределения химических элементов в земной коре. Доклады РАН. 1923.

Если мы независимо от распространения будем рассматривать эту таблицу, положив в ее основу первые 28 элементов Менделеевской таблицы, то это не внесет сколько-нибудь определенных изменений в подсчеты:

1. В первом ряду надо будет прибавить еще He, Ar, Ne.
2. Во втором будут исключены Be, Ba (Br) и добавлен скандий. Цифры в этом случае несколько понизятся.
3. Третья группа останется без изменений.
4. В группу должен быть включен бериллий и исключены Cu, Zr, Sr, Br.

Эти цифры при принятии первых 28 элементов по Менделеевской таблице, а не по их значению в земной коре, помещены мною в скобках. Мы видим поразительное совпадение этих цифр, показывающее, что первые 28 элементов в действительности определяют собою весь характер состава земной коры.

При этом перечислении мы можем брать лишь главные изотопы и должны пренебрегать теми, кои в таблице I поставлены в скобки, так как не знаем в ряде случаев точного количественного соотношения изотопов одного и того же элемента. В частности это пренебрежение некоторыми изотопами наиболее существенно отражается на перечислении Mg и Ni, часть коих должна быть отнесена преимущественно к группе 4q + 2. Это вызывает понижение всех чисел первого и четвертого ряда и повышение третьего ряда и немного второго, причем такое изменение более чувствительно для последних двух столбцов (по Демпстеру соотношение изотопов Mg: 24 — 75%, 25 — 12,5%, 26 — 12,5%).

23) Этого вопроса я частично касался в своей Геохимии. А. Ферсман. Геохимия России. 1922. I. стр. 49.

24) Moureau et Lepape. Compt. Rend. 1914. 153.

25) Четыре типа ассоциаций совершенно независимы от тех или иных гипотез, располагающих эти ассоциации пространственно на земле. В том или ином виде их выделяет и Washington (1920) в своих петрогенических и металлогенических элементах, и Niggli (1921).

26) О совместном нахождении элементов — корреляциях подробно говорит Washington, приводя и всю интересующую нас литературу. H. Washington. The chemistry of the earths crust. Journ. Frankl. Inst. 1920. 190. 790. Особенно интересна разбираемая им корреляция между Na и Fe и между Mg и K. H. Washington. The correlat. of pet. a magn. Proceed. Nat. Ac. Sc. 1915, I. 574. См. также очень важную статью H. Washington. Distribut. of the Elements of ign. rocks. Trans. Amer. Inst. Min. Eng. 1909. XXXIX. 735. Очень важна работа В. Вернадского. Парагенезис химических элементов в земной коре. Труды XII Съезда естествоиспытателей и врачей. Москва. 1910.

27) См. подробнее об этом А. Ферсман. Геохимия России. 1922. I. 57. Основные работы по делению элементов на кислые и основные см. De-Launay. La science géologique. Par. 1905. 627. J. Vogt. Zeitsch. f. prakt. Geologie. 1894—1906 (ряд статей). См. Washington в предыдущем примечании (26).

28) Вопрос о кислых и основных породах будет обсужден дальше, в связи с составом разных оболочек земной коры. Хотя деление элементов на четыре группы довольно резко сказывается в валовых подсчетах, тем не менее оно очень неясно для ряда плохо изученных с геохимической точки зрения элементов. Так В. Вернадский считает благородные газы широко распространенными в земной коре, а по отношению к Br и J высказывает затруднительность связывать их с основными магмами.

29 Вопросу перегруппировок элементов посвящена специальная глава XI.

30) F. Becke Tsch. Min. Petr. Mitth. 1903. XXII. 209 - 250. Prior Miner. Magaz. 1903. 61. 228. F. Wolff. Der Vulkanismus. B. 1913. I. M. Stark. Petrographische Provinzen. Fortschritte der Mineral. 1914. IV. 251. Becke в необычайно интересной форме поднял вопрос об атлантической и тихоокеанской магмах, указывая более глубокое залегание первой с преобладанием более тяжелых элементов (Si, K, Ca, Fe) в противоположность болеэ легким магмам с Na, Mg, Al и Si.

31) Ф. Левинсон-Лессинг. Изв. Политехн Инст Петр. 1915 XXIII. 459.

32) Подробное изложение этого вопроса вошло в мою Геохимию России. А. Ферсман. Геохимия России. 1922. I. р. 57—65.

33) J. E. Spurr. Theory of ore deposits. Econ. Geology. 1907. II. 780. W. Lindgren. Metallog. Epochs. Econom. Geology. 1909. IV. 409. Ср. примечание (23).

34) Верхние части земной атмосферы несколько гипотетически намечены A. Wegener. Zeitsch. f. anorg. Chemie. 1912. 75. 107. По его диаграмме кислород доходит только до 80 клм., начиная со 100 приобретают значение He, H и геокороний, причем выше 200 клм. и гелий уже уменьшается. N падает на высоте 120 клм., уступая место водороду, который к 140 клм. достигает своего максимума, уступая потом медленно и постепенно гипотетическому геокоронию. Ср. прим. 12.

35) Впервые деление на зоны Sal, Sima, Nife было намечено E. Suess'ом и подробнее было им обосновано в его Antlitz der Erde. 1909. III. p. 625.

36) Все наши рассуждения основываются на изучении вопроса о среднем составе земной коры. Надо сказать, что к пересчетам состава и определению средних цифр очень многие геологи, петрографы и минералоги до последнего времени относились весьма скептически, не видя в них возможности каких-либо выводов общего значения. Напр., определенно считал принципиально ошибочным этот метод Левинсон-Лессинг. F. Loewinson-Lessing. Compt. Rend. Congr. Géol.

Int. Spb. 1899. p. 379. В настоящее время, после работ Harkins'a и др., эта точка зрения начинает уступать место более правильной оценке этих работ. Любопытно построение Osann'a (Sitzungsber. Heidelb. Acad. 1914. XXVI), который все породы сравнил со средним составом и весьма изящно доказал значение этого метода в петрологии.

37) R. Daly. Average chem. composit. igneous rock-types. Proceed. Amer Acad. Arts a. Sc. 1910. XLV. 212—240. H. Washington. Chem. Analys. of ign. rocks. Prof. Papers. Un. St. Geol. Survey. № 99. 1917. R. A. Daly. Igneous rocks a. their origin, перевод А. П. Герасимова. Москва. 1919. II. p. 20.

Таблица XVI перечислена мною на основании таблицы XV, причем мною для резкости взяты лишь первый и третий столбцы.

38) Несомненно, что есть ряд отклонений от параллелизации рядов; так в ультраосновных P играет большую роль, но не отвечает типу 4q; обратно Co и V попадают в группу кислых пород, что совершенно не отвечает природным соотношениям. Но в общем, схема выдерживается для первых 28 элементов с исключительною резкостью.

39) Литература по геофизике, посвященная природе центральных частей земной коры, очень велика. Я привожу лишь главнейшие: W. Klussmann. Beitrage zur Geophysik. 1915. XIV. I. E. Wiechert. Nachrichten der Gesellsch. f. Wissensch. 1897. 221. Сводка всех последних работ Wiechert'a — B. Simmersbach. Jahrbuch d. Nassauesch. Ver. f. Nat. 1918. 70. 84—142. T. C. Chamberlin a. R. D. Salysbury. Geology. 1906. I. 564 и II. 58. См. сводку Trabert. Lehrbuch. d. Kosm. Physik. B. 1911. См. также Bombicci. L. sulla composit. fisico del globo terrestre. Chem. Reale Acad. Sc. Inst. Bologna. 1887. VIII. H. Thiene. Temperat. u. Zustand d. Erdinnern. Jena. 1907. Особенно важны многочисленные работы Геофизической Лаборатории Карнеги в Вашингтоне, неоднократно захватывавшие эти вопросы; см. особенно работы над сжатием под большим давлением Johnston'a 1915 г. и др. См. также Р. Дэли. Магмат. горн. пор. и их происхожд. (пер. А. П. Герасимова). 1919. II. p. 7 и след. Prior. Min. Magaz. 1916. XVIII. p. 40 и др. Новые идеи в астрономии. 1913. № 2 (земля, ее внешние формы и внутреннее строение). T. Chamberlin and H. Reid. Ann. Rep. Smithson. Instit. W. 1916. 225. L. Adams a. E. Williamson. I. Frankl. Inst. 1923. 195. 475.

Важны в этой области новейшие работы по сейсмологии; хорошая сводка последних данных см. E. Tams. Die Naturwissensch. 1923. 26 Янв. p. 49. W. Westphal. Die Naturwissensch. 1922. p. 260 (отд. от солнца в парах Fe). См. также R. Brandt. Neuere Anschauengen u. den Aufbau d. Erdkruste. Naturw. 1920. 351. W. H. Hobbs. Earth Evolut. N. J. 1921. (земля твердая с отд. расплавл. очагами). R. Daly. The Planetes. Hypoth. in relat. to the Earth. Scient. Mountly 1920. № 82 (против Чемберлена). T. C. Chamberlin. The origin of the earth. Chic. 1916. Из старых работ упомянем: E. Suess. Sitzungsber. Wien. Ac. der Wissensch. 1907. Math. Nat. I. 116. p. 1555. Daubrée. Les météorites et la constitut. du globe terrestre. Par. 1886.

40) О связи с кометами и происхождении последних см. главу о кометах (стр. 87).

О происхождении метеоритов см. подробнее F. Berwerth. 1914 (Ref. Neues Jahrbuch f. Miner. 1916. I. 175; перевод немецкой статьи Ann. Rep. Smithson. Instit. 1919. Wash. p. 311). F. Berwerth. Fortschr. d. Miner. Kristall. Petrogr. 1911. I. 276. Берверт считает метеориты за частицы нашей планетной системы, не соглашаясь с Sv. Arrhenius'ом, который относит их лишь отчасти к нашей солнечной системе. См. работы Tschermak'a (Sitzungsber. Wien. Ac. 11, LXXI. 1875. p. 661), установившего связь определенных химических типов с определенными звездными потоками или временами года, и Пиккеринга, связывавшего пути каменных метеоритов с астероидами, а пути железных — с кометами. Литературу см. Берверта. Crookes. (Phil. Trans. 1918. 217 A, 427) считает каменные метеориты совершенно сходными с землей и производит их от астероидов; сидериты отличает и думает, что, может быть, они иного происхождения. Ср. G. Merrill. Metam. in Met. Bull. Geo. Soc. Amer. 1921. XXXII. 395.

41) Существуют еще промежуточные типы — мезосидериты (палласиты), в которых имеется масса металла с включенными в нее большими кристаллическими зернами силикатов. В. М. Гольдшмидт (1922) указывает, что такое неразделение двух фаз, очень разнородных, можно объяснить лишь ничтожною величиною силы тяготения в условиях застывания массы металла, благодаря чему капли силиката не могли быть механически обособлены от металла под влиянием силы тяжести. Под вопросом стоит большая группа стекловатых метеоритов — тектитов (Neymayr-Suess. Erdgeschichte. 1921. 1. См. о них, как о космолитах (Himmelsgläser) V. Goldschmidt. Zeit. f. Kryst. 1921. LVI. 420).

42) О химическом составе метеоритов, средних цифрах и распространении отдельных элементов имеется огромная литература; главнейшие работы: W. Wahl. Zeitsch. f. anorg. Chemie. 1911. **69**. 52 — 96. O. Farrington. Mem. Nat. Acad. Sc. 1915. XIII. O. Farrington. Journ. of. Geology. 1901. IX. 393, 522. G. Merrill. Journ. of Geology. Chic. 1901. **9**. 630. G. Merrill. Amer. Journ. of Sc. 1909. **27**. 469. O. Farrington. Analyses of Stone Meteorites. Field Museum of Nat. History. Geol. Ser. III. 1911. Chic. № 9 p. 195. O. Farrington. Meteorites, their structure composit. a terr. relat. Chic. 1915. (Ref. Nature. 1916. **98**. 145). G. Merrill. Bull. Geol. Soc. Amer. 1916. XXVIII. 50. G. Merrill. Memoirs of the Nat. Acad. of Sc. 1914. 14. G. Merrill. Proceed. Nat. Acad. Sc. 1919. 37 — 39 (Rev. de Géologie). См. прекрасные работы G. Prior. Mineral. Magaz. 1914. XVII. 33. G. Prior. Miner. Magaz. 1916. XVIII. p. 40. G. Merrill. Compos. a. structure of meteor., compar. with terrestr. rocks. An. Report. Smiths. Instit. Wash. 1917 (1919), p. 175.

43) В скобках поставлены цифры подсчетов Harkins'a (Philos. Magaz. 1921. 305). Расхождение наибольшее в железе. Принимая цифры Гаркинса, мы получаем газовое среднее метеоритов еще более близкое к земному, чем у меня.

44) Elie-de-Beaumont. Note s. l. émanations volcaniques. Bull. d. l. Soc. Géol. Franc. 1847. IV. 1249—1334. Cp. St. Claire Deville. Memoire s. l. émanat. volcan. Compt. Rend. Par. 1856. XLIII. 955. A. Breithaupt. Die Paragenesis der Minerale. Freib. 1849.

45) Crookes. Genesis of the Elements. Lond. 1887. J. N. Lockyer. Inorg. Evolution. L. 1900. Н. Морозов. Период. системы строения вещества. Москва. 1906. Н. Морозов. Эволюция вещества на небесных светилах. Речь зас. XII Съезда естеств. 1910. Москва.

46) F. Clarke. Chem. News. 1890. 61. 31—34. Еще раньше в 1873 г. он высказывал те же мысли.

47) L. De-Launay. Revue géner. d. sciences. 1902. 30 Avril; 1904. 30 Avril. L. De-Launay. Compt. Rend. 1904. CXXXVIII (Март). L. De-Launay. La science géologique. Par. 1905. 627—665. L. De-Launay. Les gîtes mineraux et metallifères. P. 1913. 1. 12—54.

48) T. Carnelley. Ber. d. deutsch. Chem. Gesellsch. 1884. XVII. 2287—2291. J. Waddels. Chem. News. 1914. 113. 289—291. См. также А. Ферсман. Геохимия России. Петр. 1. 1922. Глава VI (Научное Хим.-Технич. Изд.).

49) G. Oddo. Die Molekular. d. radioact. Atome. Zeit. f. anorg. Chemie. 1914. 87. 266. W. Harkins. Zeitsch. f. anorg. Chemie. 1916. 97. 175 (Jour. Amer. Chem. Soc. 1916). W. Harkins. Journ. Amer. Chem. Soc. 1917. XXXIX. 857. W. Harkins. Science. 1919. 1. 577. W. Harkins. Nature. 1921. 14 Апр. C. Schmidt. Das Period. System d. chem. Elemente. Leipz. 1917. 114. C. Schmidt. Periodisches System u. Genesis der Elemente. Zeit. f. anorg. Chemie. 1918. 103. 79—118. W. Harkins. Journ. Amer. Chem. Soc. 1920. XLII. 1956. Chic. (Ref. Chem. Zentr. 1921. № 17. p. 697—700). W. Harkins. Philosoph. Magaz. 1921. Cenr. Nernst. Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung. Berl. 1921. W. Ackroyd. The telluric. distribut. of the Elements in relat. to their atomic. Weights. Chem. News. 1902. 86. 187. А. Ферсман. Письмо в редакцию (строение мироздания). Природа. 1922. № 8. Эта мысль была еще раньше проведена в брошюре А. Ферсмана. Время. Изд.«Время». Петр. 1922. стр. 56—60.

50) V. M. Goldschmidt. Der Stoffwechsel d. Erde. Zeit. f. Elekt. u. anorg. Chemie. XXVIII. 1922. 411. См. перевод Э. Бонштедт. Природа. 1923. № 1—3. V. M. Goldschmidt. Ueber die Massenvertheilung im Erdinnern, vergl. mit d. Structur gewisser Meteorite. Naturwissensch. 1922. 918—920.

51) G. T. Prior. On the genetic relationship a. classificat. of Meteorites. Min. Mag. 1916. XVIII. p. 40.

52) О связи с Менделеевской таблицей см. в главе VII.

53) H. Washington. The Chemistry of the earths crust. Journ. Frankl. Instit. 1920. 190. 781—786. P. Niggli. Das Magma u. seine Producte. Naturwissensch. 1921. IX. p. 463.

54) А. Ферсман. Геохимия России. Петр. 1922. I. p. 52 и след. В таблицу вставлен Hf (Hafnium), а все редкие земли помещены в одну клетку под Y. Совершенно особняком я выделяю всю нолевую группу. Имеется сходство между моей таблицей и очень интересною таблицею G. Oddo. Gaz. Chimica Italiana. 1920. I. II. 213.

55) Из огромной литературы по этому вопросу см., главным образом, A. Sommerfeld. Atombau und Spectrallinien. Braunschw. 1921. 567. См. также примечания (57) и (58).

56) См. мои подсчеты этих чисел на стр. 37.

57) C. Schmidt. Periodisches System u. Genesis d. Elemente. Zeit. f. anorg. Chemie. 1918. **103**. p 79. C. Schmidt. Das Period. System d. Elemente. Leipz. 1917 (особенно p. 114).

58) См. также примечание (55). E. Baur. Zeitsch. f. phys Chemie. 1911. **76** 569. H. Stinzing. Eine neue Anordnung d. per. System. Zeit. f phys. Chemie. 1916. **91**. 500. W. Kossel. Physik. Zeitsch. 1919. XX. 265. (Ueber die Zusammensetzung der Atomkerne u. seine Neigung z Zerfall) Lise Meitner. Radioactivität u. Atomkonstitution. Festschrift Kais. Wilh.-Gesellsch B. 1921. 161 (пер. В. Унковской. Научн. Хим.-Техн. Изд. 1922). M. C. Neuburger. Die Genesis d. Elemente. Phys. Zeit. 1922. XXIII. 133.

Особенно любопытны в этом отношении построения Мейтнер, так как ее модель атома необычайно просто требует таких путей распада, при которых чаще всего меняется атомный вес на 4.

59) Работы Harkins'a весьма многочисленны, рассеяны в разных изданиях и неоднократно повторяют одни и те же данные. Сообщаю те издания, которые мне известны: W. Harkins. The constitut. of Atom Nuclei. Philos. Magaz. 1921. XLII. Lond. 305—339. W. Harkins. Journ. Americ. Chem. Soc. 1920. XLII. 1956 (Ref. Chem. Zentralbl. 1921. № 17. 697—700). Harkins. Nature, Lond. 1921. 14 Апр. (связь изотопических чисел с распространением элементов). Одна из главных статей: W. Harkins Journ. Amer. Chem. Soc. 1917. XXXIX. 856—879. W. Harkins. Zeitsch. f. anorg. Chemie. 1916. **95**. 20; 1916. **97**. 175.

60) Очень любопытна связь между элементом и кристаллическим его строением в самородном виде. Kohl устанавливает несомненную связь между положением элемента в Менделеевской таблице: а именно четные элементы обычно обладают гексагональною решеткою, а нечетные — кубическою. Особенно интересны построения Tertsch. H. Krystallogr. Bemerkungen z. Atombau. Sitzungsber. Wien. Acad. Math. Naturw Kl. I. 1920. CXXIX. 91—113.

61) Ход рассуждения Гаркинса таков: некоторое число положительных зарядов образует ядро P, некоторая часть этого заряда гасится отрицательными электронами — N; остальная часть заряда остается в ядре свободною и определяется $P - N = M$. Это и есть порядковое число или число свободных положительных электронов ядра или порядковый номер. Если $P - N = M$, то $P = M + N$; с другой стороны $P = 2M +$ некоторая величина x; отсюда $2M + x = M + N$, а $x = N - M$. Иначе говоря разница между числом отрицательных электронов и порядковым числом есть вместе с тем разница между атомным весом и удвоенным порядковым числом или, еще иначе, разница между числом связанных и числом свободных электронов в ядре; число x носит название изотопического числа (см. примечание (21).

В наших представлениях о строении ядра еще нет единства. Несомненно одно, что главная часть ядра заключается в его положительном заряде, отвечающем числу Мозелея (порядковому числу = M) — в простейшем случае это определенное число ядер гелия, которые обозначаются через α с массою 4 и зарядом M. Помножив число этих ядер на 4, мы получаем всю массу этой части ядра, нейтрализуемую внешними планетарными отрицательными электронами. Вычитая M × 2 из атомного веса, мы получаем массу другой части ядра и определяемую числом, называемым изотопическим n (n = A — 2M). Как представить себе эту массу? Гаркинс упрощенно представляет массу водородных электронов pe, нейтральных самих в себе. Другая школа, и к ней примыкает Мейтнер, считает, что строение этой части сложнее, что она только частично составлена из нейтральных цементирующих водородных групп, но и еще из нейтральных групп типа гелия (α' + 2β), уравновешенных двумя электронами; масса каждой такой группы 4. Таким образом во всех атомах, в которых изотопическое число меньше 4, вторая часть ядра составлена только из водородных электронов, в других—она частью состоит из последних, частью же из нейтральных гелиевых групп. Эта вторая, несколько более сложная, гипотеза необычайно изящно разрешает и объясняет порядок распада радиоактивных веществ.

Таким образом по Мейтнер

$$\text{формула урана} = 46\alpha + 13\,(\alpha' + 2\beta) + 2H + 2C = 238$$

По Гаркинсу выражается так:

$$U = 46\,(p_1e_2) + 54\,(pe)$$

$$\text{где } 46 = \frac{N}{2}\ \text{ где } 54 = n$$

Если выражение Гаркинса нам совершенно не указывает порядка распада, то выражение Мейтнер дает ключ к построению из данного элемента наиболее вероятного ряда распада.

62) В. Вернадский. Химические элементы и механизм земной коры. Природа. 1922. XI. 3—5, 33—37.

63) По вопросу о химии луны довольно большая литература: см. S. Wolff. Der Vulkanismus. I. 1914. 639 (с большим списком литературы) I. Landerer. Compt. Rend. Par. 1889 (II). 360: 1890 (II). 210. A. Wegener. Die Entstehung der Mondkrater. Braunschw. 1921. *Siegmund Günther. Vergleichende Mond-und Erdkunde. Braunschw. 1911. A. Белопольский. О кометных хвостах. Отчет Пулковск. обсерв. Петр. 1922, стр. 85.

64) О спектрах планет см. А. Белопольский. Курс астрофизики. III. 1921. 234. John a. Nicholson. Astroph. Journal. 1922. LVI. 380 (спектр Венеры). *Ch. André. Les planètes et leur origine. Par. (Gaut. Vill). Э. Эпик. Атмосфера на Венере. Труды Астрофизич. Обсерват. Москва. 1922. I. 265.

65) А. Белопольский. Курс астрофизики. 1921. III. 165—171. См. Сборник «Новые идеи в астрономии». № 5. 1914. Moreux. Où en est l' astronomie. Par. 1920. 204—236. R. W. Wood. Lunar Petrography. Astroph.

Journal 1912. XXXVI. 75. E. Wherry. Amer. Mineral. 1920. V. 167 (сера). Branca. Die vier Entwick. Vulcan. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. 1915. IV. p. 59.

Общая масса отдельных известных нам комет не превышает 0,0001 земли, т. е., при принятии для них удельного веса земли, их масса образовала бы маленькое космическое тело всего лишь в 80 клм. радиусом.

По пункту 7 наших выводов надо отметить опыты над нагреванием в вакууме метеоритов: выделенные из них газы и пары в общем напоминают состав кометных хвостов (Fogel). Свечение хвоста некоторыми объясняется излучением из солнца лучей типа катодных.

66) Из многочисленных работ по спектру солнца отметим: А. Белопольский. Курс Астрофизики. Петр. 1921. III. стр. 142 (с литературою). H. N. Russel. Astrophys. Journal. 1922. LV. 119, 354. (Популярное изложение этой статьи К. Боборицкий. «Природа». 1922. № 8—9, стр. 103). A. Gramont. Compt. Rend. Par. 1921. **172**. 893. C. G. Abbot. The Sun. 1911. 91, 94, 99, 104, 252. Buisson et Fabry. Journ. phys. rad. 1921. II. 297 (спектр в ультрафиолетовой части). *Loring Atom. Theories. 1921. N. J. 161. Veronet. Compt. Rend. 1918. **166**. 109. F. Loring. Atomic Energy a. Radiat. of the Sun. Chem. News. 1921. 219.

67) Спектры отдельных зон солнца см. помимо литературы отмеченной в примечании (66) — De-Launay. La science géol. P. 1905. p. 656. См. популярные статьи Э. Эпик. Движение в солнечных пятнах. «Природа». 1918. 109. Э. Эпик. Солнце по новейшим исследованиям. М. Госизд. 1922.

68) О температуре солнца см. Sv. Arrhenius. Phys. Chem. Gesetzmässigkeit bei d. kosm. chem. Vorg. Z. f. Electroch. 1922. XXVIII. 405. L. Meitner. Zeit. f. anorg. Chemie. 1923. № 2. p. 9. A. Schuster. Astrophys. Journal. 1905. W. Wilson. Radium a. solar energy. Nature. 68. 1903. 222.

69) Megh-Nad-Saha. Philos. Mag. 1920. XL. 809; Phil. Mag. 1921. XLI. 267; Phil. Mag. 1922. Dez.; Phil Mag. 1920. XL. 472—488. Megh-Nad-Saha. Zeitsch. f. Physik. 1921. VI. 40. См. также литературу при описании спектров звезд.

70) Целая литература имеется по вопросу о нахождении урана и радия на солнце. Известный физик Ленар и Нернст высказываются за допущение в центральных частях солнца более тяжелых радиоактивных элементов, чем уран, что является только гипотезою. Hasselberg (Svensk Vett. Akad. Handl. 1910. **45**. № 5. 63) не нашел радия на солнце, в противоположность Dyson (Astronom. Nachrichten. 1912. 192. 82), который открыл его линии в хромосфере. Перрен считает, что распад радиоактивных веществ должен идти на солнце так быстро, что радий в его условиях будет «très fugitif».

71) О спектрах туманностей см. А. Белопольский. Курс Астрофизики. Петр. 1921. III. p. 172 (литература). См. также Bourget, Fabry et Buisson. Compt. Rend. Par. 1914. **158**. 1017. J. Nicholson. Sur

les poids atomiques des élem. des néboul. Compt. Rend. 1914. 158. p. 1322.

Реферат последних работ Ликской Обсерватории (по 1918 г.) по спектрам туманностей см. «Успехи физических наук». Москва. III (2). 1923. 281 (литература).

72) Некоторые общие замечания о туманностях см.: E. Belot L'évol. collect. et disc. des étoiles et des nébouleuses. C. R. Par. 1923. 176. 567. В. Фесенков. Труды Астрофиз. Обсерв. 1922. I. 49—186 (связь туманностей с метеоритами). Meunier. Compt. Rend. Par. 1913. 156. 391 (связь с метеоритами). Groot. Gravity aud Pressure of Radiat. Proceed. Akad. Wett. Amst. 1922. XXIV. p. 64.

73) Общие данныя о спектре звезд и литературу по этому вопросу см. А. Белопольский. Курс Астрофизики. III. 1921. 127—142, 175, 195. Симон Ньюкомб. Звезды. Госизд. М. 1923. (Популярная книга Ньюкомба сейчас сильно устарела). «Новые идеи в астрономии». 1914. № 4; 1915. № 7. Нернст. Мироздание в свете новых исследований. «Успехи физич. наук». III (2—3), стр. 184.

См. о звездах S. P. Merrill. Stellar spectra of class S. Astroph. Journ. 1922. P. Stroobant. Sur la nature des étoiles tempor. Bull. Ac. Sc. Belge. 1928. IX. 448 (литер. о Nova).

74) По эволюции звезд см. Sv. Arrhenius. Zeitsch. f. Electroch. 1922. XXVIII. p. 405. Eggert. Physik. Zeitsch. 1919. XX. 570. R. Emden Ueber den Bau u. Entwickelung der Sterne. Physik. Zeitsch. 1922. XXIII. 490. J. Perrin. Matière et lumière. Ann. de physique. XI. 1919. p. 78—95. A. Eddington. Stellar movem. a. the structure of univ. Lond. 1914 (особенно глава VIII 155—183). A. Eddington. Encyclop. Britannica. 1922. «Astronom.». Vol. XXX. 296. A. Eddington. The interior of Star. Nature, May. 1923. p. V. B. Костицин. Трубы Гл. Астроф. Обс. 1923. II. p. 294.

75) По ионизации элементов см. литературу в примечании (69). см. особенно Megh-Nad-Saha Zeitsch. f. Physik. 1921. VI. 40. H. N. Russel Astrophys. Journal. 1922. LV. 119. W. Westphal. Natur.-wissensch. 1921. IX. 863.

76) A. S. Eddington. The Borderland of Astron. a Geology. Nature. 1923. p. 18.

77) Несомненную роль в миграции элементов играют магнитные и электромагнитные явления, коих влияние пока еще ускользает от нашего исследования.

78) Понятие о «миграции» элементов впервые введено мною. См. А. Ферсман. Геохимия России. 1922. I. р. 61—64.

79) П. Лебедев. Давление света. Классики естествознания. М. 1922. (сборник статей). Там-же литература с работами Бредихина, Фая.

80) См. Joly. Radioactivity a. Geology. 1909. A. Holmes. The Age of the earth. 1913. 107.

81) Chamberlin a. Salysbery. Geology. 1907. II. 97.

82) О потере атмосферою газов согласно кинетической теории газов см. I. Stoney. Astrophys. Journal. 1900. XI. 251, 357; S. Cook. Astroph.

Journ. 1900. XI. 36. См. также В. Вернадский. Изв. Акад. Наук. 1912. 141. *. J. Stoney. Scient. Trans. Roy. Dubl. Soc. VI. Ser. 11. 1897. 305. Sv. Arrhenius. Lehrb. d. kosmischen Physik. 1903. L. 164—181.

83) О силах диффузии и рассеянии элементов см. сводную, устаревшую статью А. Ферсман. Явления диффузии в земной коре. «Природа». 1913. 817—826. О рассеянии элементов и микрокосмических телах см. В. Вернадский. Парагенезис элементов в земной коре. Дневник Съезда Естествоиспытателей. Москва. 1910. В. Вернадский. Химические элементы и механизм земной коры. «Природа». 1922. XI. 3—5, стр. 33—37.

84) Вопрос о ходе химических реакций в земле и космосе не может быть конечно рассмотрен с какою-нибудь детальностью. Задача настоящего исследования заключается лишь в попытке осветить распределение химических элементов в космосе, но не ход возможных химических реакций и их энергетику. К этому вопросу я думаю вернуться в другом месте.

85) Ср. В. Суходский. Теорема Нерìста и ее приложения к электрохимии. Изв. Политех. Инст. 1912. XVIII. СПБ. 549.

86) О химических законах перемещения и перераспределения элементов в земной коре см. особенно Leith a. Mead. Metamorph. Geology. № 4. 1915. C. K. Leith. Metamorph. Cycle. Journ. of geology 1907. XV. 303. Warren Mead. Redistribut. of Elements. Journ. of Geology. 1907. XV. 238—256. Более старую литературу см. у V. Hise. Treatise on metamorphism. Monogr. Unit. Stat. Geolog. Survey. 1904. XLVII. 932.

87) Совокупность различных явлений миграции элементов в земной коре мы включаем в общее понятие метаморфизма. Из огромной литературы по этому вопросу см. V. M. Goldschmidt. Zeitsch. f. Electroch. XXVIII. 1922. Leith a. Mead. Metam. Geology. 1915. А. Ферсман. Геохимия России. Петр. I. 1922.

88) В. Вернадский. О газовом обмене земной коры. Изв. Акад. Наук. 1912. 141—162. В. Вернадский. Изв. Акад. Наук. 1916. 1249.

89) См. А. Ферсман. Геохимия России. I. 1922. р. 65. В. Вернадский. Химический состав живого вещества. Петр. 1922 (изд. «Время»). В. Вернадский. Живое вещество в химии моря. Петр. 1923. (Науч. Хим.-Тех. Издат.).

90) Радий в космосе. А. Герасимов. Роль радия в динамике земной коры. Изв. Геол. Ком. 1921. XL. 43. См. A. Holmes. The Age of the earth. 1913. Grotrian. Physisch. Zeitsch. 1920. 145 (возникновение радиоактивности под влиянием солнечного излучения). J. Joly. The Movem. of the Earths Surf. Phil. Mag. 1923. июнь) р. 1167. J. Joly. Pleochr. Haloes. Proc. Roy. Soc. 1923. (A.). v. **102.** р. 682. Радиоактивность метеоритов. Quirke a. Finkelstein. Amer. Journ. Sc. 1917. XLIV. 237.

91) См. сводку статей Э. Резерфорд. Строение атома и искусственное разложение элементов. Петр. 1923 (пер. Шпольского).

При расщеплении используется огромная энергия α-лучей, но тем не менее обычно получается выигрыш в энергии за счет энергии внутри-

атомной: т. е. расщепление, как и радиоактивный распад, идет с выделением энергии и приводит к более устойчивым группировкам, содержащим **меньше** энергии.

Привожу эти данныя приращения энергии:

B	N	F	Na	Al	P
42	—13	35	6	42	15

Пример азота показывает, что при расщеплении выигрыш энергии не есть обязательное явление и процесс может итти и в сторону поглощения.

Природа остающегося атома, после вылета водородных частиц, еще не выяснена.

92) Некоторые данныя по интересующим нас вопросам см. Л. Чугаев. Природа и происхождение химических элементов. 1923 (Науч. Хим.-Тех. Издат.). Б. Меншуткин. О новейших направлениях в химии. Петр. 1922 Науч. Хим.-Тех. Издат.). Fayans. Radioactivität. IV Aufl. 1922. Braunschw. Л. Мейтнер. Радиоактивность и строение атома (Науч. Хим.-Тех. Издат. 1922 пер. В. Унковской). N. Bohr. Zeitsch. f. Physik. 1922. IX. 1—67. A. Sommerfeld. Atombau u. Spectrallinien. Braunschw. 1921. E. Kohlweiler. Elemententwickelung u. Atomkernbau. Phys. Zeitsch. 1920. XXI. 203, 311; 1921. XXII. 243. F. Kirchoff. Das Periodische System d. Elemente. Zeitsch. f. physik. Chemie. 1920. 94. 257. R. Sonder. Zum Bau der Atomkerne. Zeit. f. Kryst. 1923. LVII. 611. Работа, вышедшая лишь в июне 1923 г., не могла быть мною использована; между тем она содержит ряд ценнейших данных, вообще отвечающих моей концепции.

93) О скоростях распада см. W. Kossel. Phys. Zeitsch. 1919. XX. 265 (устойчивость ядер кратных 4).

94) Приведем несколько очень интересных подсчетов: 1 грамм радия выделяет в год 168 куб. мм. He. Если предположить, что все α-частицы проникли в окружающий металл (напр., Al) и вытеснили из его ядра H, то количество выделенного H в год под влиянием 1 грамма радия должно дать не больше $^1/_{100}$ куб. мм. водорода. Для осторожности, в природных процессах возьмем только 1% этого числа, время примем в 1.10^9 (максимальное существование земной коры), а среднее содержание радия в земле на 1 грамм породы — 1.10^{-12}. Мы получим, что за все время с образования твердой оболочки наша земная кора, толщиною в 25 клм., могла этим путем выделить водорода порядка многих десятков тысяч куб. километров.

95) Помещаем несколько литературных ссылок на работы, имеющие значение для познания химизма солнечных процессов: Poincaré. Leçons s. l. hypothéses cosmogon. 1911. p. 191—209. Sv. Arrhenius. Zeitsch. f. Electroch. 1922. XXVIII. 405. W. Wilson. Nature. 1903. 68. 222. (радий). J. Perrin. The origin of solar heat. Scientia. 1921. XXX. 355 (конденсация легких элементов). Abbot. The Radiat. of the Sun. Rep. Smithson. Inst. 1915. 137. Nernst. Das Weltgeb. im Lichte d. neueren Forschung. 1921. Berl. A. Holmes. The Age of the earth. L. 1913. 110. Rutherford a. Soddy. Philos. Mag. Lond. 1903.

См. популярную книгу Э. Эпик. Солнце по новейшим исследованиям. Москва. Госизд. 1922. Баев. Тепло солнца. Петр. Госизд. 1923.

О низких t космоса см. R. Plank. Zur Thermodynamik tiefster Temp. Zeit. f. Physik. 1923. XIV. 158.

96) Привожу главнейшую космогоническую литературу в хронологическом порядке:

N. Lockyer. Anorgan. Evolution. Lond. 1900.

A. Schuster. Evolut. of solar stars. Astroph. Journ. 1903. XVII. 165.

Chamberlin a. Salisbury. Geology. 1907. II. 1—140.

* Ch. André. Les planètes et leur origine. 1909. Par. I.

Н. Морозов. Эволюция вещества на небесных светилах. Прот. XII Съезда Естеств. в Москве. 1910.

Poincaré. Leçons sur les hypothéses cosmogoniques. Par. 1911.

* E. Belot. Essai de cosmogonie tourbillonaire. Par. 1911.

Издание «Новые идеи в астрономии». Космогонические гипотезы. № 1—1913 г. и № 3—1914 г.

* Th. C. Chamberlin. The origin of the earth. Chic. 1916.

I. Perrin. Annales de physique. 1919. XI. p. 1—108.

П. Чирвинский. К вопросу о законах образования хим. эл. во вселенной. Изв. Донск. Пол. Инст. 1919. VII. 94.

J. Jeans. Problems of cosmogony a. stellar dynam. 1919 (мне недоступна; см. К. Баев. Об эволюции небесных тел. Петр. 1920.

P. Termier. Les grandes énigmes de la géologie. L. 1920.

W. Nernst. Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschungen. Berl. 1921. (пер. «Успехи физики». Москва. II. 2—3. 1923).

Wiechert. Ueber das Schicksal d. Gestirne. Vierteljahrschr. d. Astronom. Gesellsch. 1921. 56 (3 Heft).

* J. Jeans. Nebul. hypoth. a. cosmogony. Lond. 1922.

J. Perrin. Radiation a. Chemistry. Trans. Farad. Soc. 1922. XVII.

Sv. Arrhenius. Physik. chem. Gesetzmässigkeit bei den kosm.-chem. Vorgängen. Zeitsch. f. Electroch. 1922. XXVIII. p. 405. (Научное Хим.-Тех. Изд.).

R. Emden. Ueber den Bau u. Entwickel. der Sterne. Phys. Zeitsch. 1922. XXIII. 490.

T. Moreux. Origine et formation des Mondes. Par. 1922

A. Eddington. Astronomy. Статья в дополнит. томе Британской Энциклопедии за 1922 г.

Aston. Chemic. Age. 1922. 11 Ноября.

А. Ферсман. Время. Изд. «Время». Петр. 1922. 58—61.

A. Eddington. The Borderland of Astronomy a. Geology. Nature. 1923. 6 Янв. p. 18.

L. Meitner, Zeitsch. f. anorg. Chemie. 1923. I p. 9 (значение радиоактивности для космических процессов). (См. Природа, 1923).

Джордж-Говард Дарвин. Приливы и родств. явл. солн. системы. Госиздат. 1923.

* J. Jeans. Nebul. Hypoth. a. Modern cosmog. Lond. 1923.

96) W. Gerlach. Atomismus u. Makrokosmos. Z. f. angew. Ch. 1923. № 31/32, p. 214.

97) Norke. Giebt es einen Kreislauf d. kosmisch. Geschehens. Z. f. Phys. 1922. X. 200.

98) Отмечу, что Нернст считает, что радиоактивные вещества сосредоточиваются по премуществу в центральных частях космических тел, и потому всякое отделяющееся от солнца новое тело (напр., планета) должно содержать радиоактивных веществ меньше, чем само солнце. Если все тепло на солнце и на земле отнести к радиоактивному источнику, то соотношение оправдывается. Однако, фактические наблюдения и подсчеты, приводимые в нашей книжке, говорят против этого.

99) За Fe, Co и Ni начинается новая область элементов, что вытекает не только из перелома кривой распространенности, но и из строения вещества: какую-бы схему строения атомных ядер мы ни приняли, но за атомным весом в 59 наблюдается резкое изменение скачком характера атомов (Гаркинс 1916 г.; Д. Рождественский). Последний показал, что в характере излучения элементов после четырех малых периодов в вертикальном столбце наступает коренное изменение.

100) J. Schneider (Popul. Astrophysik. L. 1912. 794) высчитывает, что в среднем на 1 куб. метр известного нам космоса приходится 160 атомов элемента: при наличии концентрации атомов в космических телах цифры разрежения фактически являются еще гораздо большими. Для иллюстрации плотности распределения светящихся звезд Dyson предложил представление о двадцати лаун-теннисных мячиках, разбросанных в земном шаре.

101) Заканчивая эту книжку, я не могу не отметить, что попытка подойти к учету химических элементов вселенной неизбежно должна была коснуться достижений ряда научных дисциплин, весьма отдаленных от моей специальности — минералога и геохимика. Я сознаю, что многое может быть набросано слишком смело, что пришлось коснуться областей, которых я чужд, и что невольно мною могли быть и, вероятно, были сделаны в этих областях ошибки. Часто базируясь таким образом на достижениях физики, химии, астрофизики или геофизики, мне приходилось нередко сообщать чужой научный материал, не вкладывая в него критики, лишь пытаясь осветить его с точки зрения моих собственных геохимических идей. Пусть критика дополнит и исправит мои ошибки и недочеты; я считаю необходимым дать основную канву в одном из важнейших вопросов химии космоса и толкнуть научную работу в определенном направлении.

Указатель химических элементов

(см. всю таблицу элементов на стр. 67, 69 и в конце книги)

ОГЛАВЛЕНИЕ.

ТАБЛИЦА МЕНДЕЛЕЕВА.

Ряды.	I	II	III	IV	V	VI	VII	O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды.
1	H	—	—	—	—	—	—	He 2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	12	13	14	15	16	17	18	Li	Be	B	C	N	**O**	F	Ne	2
3	Na	**Mg**	Al	Si	P	S	Cl	Ar	19	20	21	22	23	24	25	26 27 28	
	29	30	31	32	33	34	35	36	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	**Fe, Co, Ni**	4
5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	37	38	39	40	41	42	43	44 45 46	
	47	48	49	50	51	52	53	54	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	?	Ru, Rh, Pd	6
7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe	55	56	57—71	72	73	74	75	76 77 78	
	79	80	81	82	83	84	85	86	Cs	Ba	TR	Ha	Ta	W	?	Os, Ir, Pt	8
9	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	?	Nt	87	88	89	90	91	92			
									?	Ra	Ac	Th	Pa	U	—	—	10

Менделеевская таблица химических элементов космоса. Между H и He заподозрен небулий, а до водорода — короний, хотя их положение с точки зрения теории атома нам неизвестно. После урана Нернст предполагает еще более тяжелые элементы с сильно радиоактивными свойствами.

Горизонтальная жирная линия отделяет верхние четыре малых ряда от нижних, отграничивая этим область главных элеме̇нтов космоса от второстепенных.

Жирным набраны элементы основные для космоса; над элементами надписан их порядковый номер, причем для тех из них, которых атомный вес главного изотопа кратен 4, тоже взят жирный шрифт. Последнее введено лишь для первых 28 элементов, причем к ним отнесен и никкель, хотя для него изотоп, кратный 4 (60), играет несколько меньшую роль в смеси, чем второй (58).

Ипатьев, В. Н. акад. и **Блох, М. А.** Каталитические явления в природе. 1922.

К десятилетию открытия Лауэ. Статьи из „Naturwissenschaften", перев. Э. Бонштедт под ред. акад. А. Е. Ферсмана.

Климов, Б. К. Сырейно-красильная промышленность. 1921.

Колосов, А. К. Контактное производство азотной кислоты, с предисл. акад. В. Н. Ипатьева. 1923 г.

Курбатов, В. Я. Введение в химию. 1919. Изд. разошлось.

„ Начала химии. 1923.

Лазарев, П. П. акад. Учение о химическом действии света. Ч. I, 1919; ч. II и III, 1920.

„ Курская магнитная и гравитационная аномалия. 1923 г.

Лапиров Скобло, М. Я. Пути и достижения русской науки и техники 1918—1923 г.

Левинсон-Лессинг, Ф. Ю. Введение в геологию. 1923.

Лондон, Е. С. Принцип относительности. 1922. Издание разошлось. 2-ое дополн. изд. 1923 г.

Лоу, А. Технический анализ руд. Перев. И. Средника. 1921.

Лукашук, А. Редкие газы, нахождение их в природе и техническое применение. 1923.

Любименко, В. Н. Химико-Технический Справочник. Часть V, вып. I. Растительное сырье. 1921.

Лялин, Л. М. Химическая технология органических веществ ч. I, в. I, 1920; ч. II, в. I и ч. II, в. II. 1922.

„ Хлеб. 1919.

„ Научные основы консервирования. 1922.

Машкиллейсон, Е. К. Гидрогенизация жиров. Под ред. и с вступительной статьей акад. В. Н. Ипатьева. 1923.

Мейтнер, Л. Радиоактивность и строение атома. Перев. В. А. Унковской. 1922.

Меншуткин, Б. Н. О новейших направлениях в химии. 1922.

Новиков, М. М. Пределы познания природы. 1922.

„ Бючли и его работа. 1922.

Омелянский, В. Л. Практическое руководство по микробиологии. 1923.

„ Луи Пастер. 1922.

„ Кефир и кумыс. 1923.

Отчет Техн. Совета. Отд. Хим. Пром. ВСНХ. 1921.

Паров, З. Сушка картофеля. Перевод И. С. Щегляева под ред. Л. М. Лялина. 1923.

Периодическая система химических элементов. Стенная таблица. 1923.

Планк М. Природа света. Перевод М. А. Блох с предисл. акад. П. П. Лазарева.

Попов, С. М. и **Якимова, М. А.** Метод приготовления хлористого кальция. 1919.

Порай-Кошиц, А. Е. и **В. И. Мылова.** Домашнее крашение волокнистых веществ. 1919.

35Р
2

Порай-Кошиц, А. Е. Руководство к лабораторным работам по химической технологии волокнистых веществ, ч. I. 1920.

Ракузин, М. А. Протеины растительного царства. 1918.

" Химия протеинов и родственных им веществ. Ч. I. 1923.

Садиков, В. С. Химия жизни. Вып. I. 1923.

Сапожников, А. В. Грибки-вредители дерева. 1922.

Сборник имени Д. К. Чернова. 1923 г.

Селибер, Г. Л. Химико-Технический Справочник. Часть V, вып. II, под ред. В. Н. Любименко. Масличные растения. 1922.

Селяков, Н. Я. Рентгеновы лучи и структура вещества. 1923.

Словцов Б. И. Физиологическая химия, ч. I и II. 1922.

Сообщения о научно-технических работах в Республике. Вып. I, II, III, 1920; IV, VI, 1921; VII, VIII, IX, 1922; X, XI (Менделеевский съезд). 1923.

Сырокомский, В. С. Редкие элементы. 1919.

Техно-Экономический Вестник, № 1—3. 1923.

Техно-Экономический Вестник, № 4—5. 1923.

Труды Технического Совета. 1922.

Фарион, В. Отверждение жиров. 1922. Перевод Г. В. Брахман и З. А. Дамье, под ред. проф. С. П. Лангового.

Федоровский, Н. М. Генетическая минералогия. 1920.

Федотьев, П. П. Электрометаллургия, ч. I, 1921; ч. II, 1923; III, 1922; Технический анализ минеральных веществ, ч. I, 1922.

Ферсман, А. Е., акад. Руководство к собиранию минералов. 1920.

" " Пути к науке будущего. 1922.

" " Геохимия России. 1923.

Фокин, Л. Ф. Химия цианамида. 1921.

" Промежуточные продукты. 1921.

" Обзор химической промышленности. 1921.

" Каменноугольная смола. 1922.

Химико-Технический Справочник. Ископаемое Сырье, под редакцией акад. А. Е. Ферсмана и Д. И. Щербакова с синоптическими таблицами М. А. Блох. 2-ое дополн. изд. 1923.

Хлопин, Г. В. Химическая промышленность и народное здоровье. ч. I, 1920; II, 1921; III, 1922.

Хлопин, В. Г. Урмийская экспедиция. 1923.

Чугаев, Л. А. Открытие кислорода и теории горения. 1921.

" Природа и происхождение химических элементов. 1923.

Шикк, О. Химик-текстильщик. Пер. А. М. Васильева под ред. проф. А. Е. Порай-Кошица. 1923.

Юрганов, В. Б. Справочник Химической Промышленности имени Л. Я. Карпова. Вып. II. Керамическая промышленность. 1922.

Яковкин, А. А. Основные законы и понятия химии. 1923.
